

Abschlussbericht

zum Vorhaben

"Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa"

KfW-Aktenzeichen: –NKa3-001912

Zuwendungsempfänger/-in

Stadtwerke Schwalmstadt

Umweltbereich

Wasser/Abwasser

Laufzeit des Vorhabens

Nov. 2011-Dez. 2016

Autor/-en

Susanne Brants, Stadtwerke Schwalmstadt

Barbara Retamal Pucheu, iat Darmstadt

Bernd Haberkern, iat Darmstadt

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und
Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

31.01.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: NKa3-001912	Projekt-Nr.:
Titel des Vorhabens: "Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa"	
Autor/-en (Name, Vorname): Brants, Susanne Retamal Pucheu, Barbara Haberkern, Bernd	Vorhabenbeginn: November 2011 Vorhabenende: Dezember 2016
Zuwendungsempfänger/-in: Magistrat der Stadt Schwalmstadt Stadtwerke Marktplatz 1 34613 Schwalmstadt	Veröffentlichungsdatum: Seitenzahl:
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Die Stadtwerke Schwalmstadt als Betreiber der Kläranlage Treysa (Ausbaugröße 22.000 EW) wollen im Rahmen einer umfassenden verfahrenstechnischen und energetischen Optimierung zeigen, dass selbst bei Kläranlagen, die bereits ein gutes bis sehr gutes Niveau der Energieeffizienz erreicht haben, noch ein hohes Optimierungspotenzial besteht, wenn Systemgrenzen zwischen dem Träger der Abwasserbehandlung, Indirekteinleitern und externen Partnern mit unkonventionellen Ansätzen überwunden werden. Die wichtigsten Ansatzpunkte dazu sind: Mitfaulung (teil-)stabilisierter Klärschlämme benachbarter kleinerer Kläranlagen; Kofermentation der Konzentrate von Indirekteinleitern, die bisher ins Kanalnetz eingeleitet und künftig mit Saugwagen zum Faulturm gefahren werden; Bewirtschaftung der Konzentrate und Schlämme durch Zwischenspeicherung zur bedarfsgerechten Gaserzeugung; Wärmegeführter Betrieb des BHKWs auf der Kläranlage und Weiterleitung des Klärgasüberschusses zu einem neuen externen Satelliten-BHKW mit Abwärmenutzung in einem bestehenden Nahwärmenetz; Auffangen der Gasemissionen im Nassschlammager durch schwimmende Abdeckhauben; Stickstoffelimination im Trübwasser durch (teilweise) Deammonifikation im Scheibentauchkörper; Ergänzende Energieoptimierungsmaßnahmen. Durch die Umsetzung der Maßnahmen wurde u.a. die Zulaufkraft zur Kläranlage reduziert, sowie die Stromproduktion und die Wärmenutzung erhöht und die Ablaufqualität verbessert. .	
Schlagwörter: energieeffiziente Kläranlage, Satelliten-BHKW; Deammonifikation, Überwindung von Systemgrenzen	

Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: Elektronischer Datenträger:	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:
---	---

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project–No.:
Report Title: "Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage Treysa"	
Author/Authors (Family Name, First Name): Brants, Susanne Retamal Pucheu, Barbara Haberkern, Bernd	Start of project: November 2011
	End of project: Februar 2015
Performing Organisation (Name, Address): Magistrat der Stadt Schwalmstadt Stadtwerke Marktplatz 1 34613 Schwalmstadt	Publication Date:
	No. of Pages:
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary (max. 1.500 characters): The public utility company Schwalmstadt, as the operator of the WWTP Treysa with an design capacity of 22.000 PE wanted to show, in line with an extensive procedural and energetic improvement, that even with conventional WWTP, which have already reached a very good level of energy efficiency, improvements can still be made if system boundaries between the operator of WWTP, indirect discharger and external partners could be surmounted with unconventional projections. The most important approaches are: Digestion of sewage sludge from small neighborhood WWTPs; Fermentation of concentrates from indirect discharger; Management of concentrates to produce sewage gas as needed; Heat controlled operation for the CHP and transfer of the sewage gas excess to a new satellite CHP; Registration and use of the gas from sludge thickener/sludge silo; Nitrogen removal from the sludge liquor by deammonification in rotating biological contactors; Reduction of the electricity consumption by optimization. Through the implementation of the measures i.a. the inflow load to the WWTP has been reduced, as well as the electricity production and the heating use have been increased und the effluent quality has been improved. .	
Keywords: energy efficient waste water treatment plant, satellite CHP, Deammonification, system boundaries	

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	6
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	6
1.2. Ausgangssituation	6
2. Vorhabenumsetzung.....	8
2.1. Ziel des Vorhabens	8
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	8
2.3. Umsetzung des Vorhabens	17
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	22
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	22
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	22
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	25
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	25
3.2. Stoff- und Energiebilanz.....	26
3.3. Umweltbilanz	44
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse	44
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	46
4. Übertragbarkeit	47
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung	47
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)	48
5. Zusammenfassung	49
6. Summary	54
7. Literatur	59
8. Anhang	60
9. Abkürzungsverzeichnis.....	60

Abbildung 1: Verfahrensschema Kläranlage Treysa im AUSGANGS-Zustand	7
Abbildung 2: Umbau des vorhandenen Voreindickers zur Speicherung von Co-Substraten	9
Abbildung 3: Prinzipskizze Gasverwertung	11
Abbildung 4: Nacheindicker	15
Abbildung 5: Lageplan Scheibentauchkörper	16
Abbildung 6: Gasdichte Haube	17
Abbildung 9: Zulaufbelastung in EW _{CSB} 2011-2015.....	28
Abbildung 10: Einwohnerwerte aus CSB-Tagesfrachten im Zeitraum 06.10.-13.10.2015	29
Abbildung 11: Einwohnerwerte aus N _{ges} -Frachten im Zeitraum 06.10.-13.10.2015	30
Abbildung 12: Klärgasanfall 2011-2016	31
Abbildung 13: Foto Gashaube	32
Abbildung 14: Gaserfassung aus dem Schlammsilo	33
Abbildung 15: Füllstand Schlammsilo	34
Abbildung 17: N _{ges} im Scheibentauchkörper (Juli 2015 – Oktober 2016).....	36
Abbildung 18: N _{ges} Abbauleistung im Scheibentauchkörper	37
Abbildung 21: N _{ges} im Ablauf der Kläranlage Treysa (24-h-Werte).....	39
Abbildung 22: Stromverbrauch, Strombezug und Eigenerzeugung.....	40
Abbildung 25: Prozentuale Aufteilung des Stromverbrauches auf die Aggregate in 2011 und 2015/2016	43
 Tabelle 1: Zusammenstellung Analysen.....	24
Tabelle 2: Mittlere Abwasservolumenströme und Schmutzfrachten im Zulauf zur GKA Treysa in 2011 und im Zeitraum Okt.15-Sep. 16 (24 h Mischproben).....	27
Tabelle 3: Ergebnisse Gasanalysen.....	34
Tabelle 4: Monatsmittelwerte N _{ges} im Zu- und Ablauf der Scheibentauchkörper.....	38
Tabelle 5: Mittelwerte N _{ges} im Zu- und Ablauf der Scheibentauchkörper	38
Tabelle 6: Kennwerte aus dem Energiecheck	41
Tabelle 7: Stromverbrauch der Verfahrensgruppen auf der Kläranlage Treysa in 2011 und 2015/2016.....	42
Tabelle 8: Projektergebnisse Vorher-Nachher-Vergleich	51
Tabelle 9: Project results before after	55

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Stadtwerke Schwalmstadt sind als kommunaler Eigenbetrieb seit 1989 Betreiber der Wasserversorgungsanlagen des Stadtgebietes Schwalmstadt. Anfang 1992 wurde auch die Abwasserentsorgung dem Eigenbetrieb zugeordnet. Mit 25 Mitarbeitern gewährleisten die Stadtwerke Schwalmstadt die Ver- und Entsorgung von rd. 18.000 Einwohnern sowie Industrie- und Gewerbebetrieben.

Das Trinkwasser wird aus 7 Tiefbrunnen sowie einer Quelfassung gewonnen, aufbereitet, gespeichert und über ein Leitungsnetz mit einer Länge von etwa 220 km verteilt.

Das im Stadtgebiet anfallende Abwasser wird über ein Kanalnetz mit einer Gesamtlänge von ca. 200 km der Abwasserreinigung zugeführt. Für die Abwasserbehandlung werden eine Kläranlage der Größenklasse 4 sowie 6 Kläranlagen der Größenklasse 1 betrieben.

Der Anschlussgrad der Wasserver- und Abwasserentsorgung liegt in Schwalmstadt bei annähernd 100%.

1.2. Ausgangssituation

Die Stadtwerke Schwalmstadt betreiben die Gruppenkläranlage Treysa mit einer Ausbaugröße von 22.000 Einwohnerwerten (EW). Die Entwässerung des Einzugsgebietes des Gruppenklärwerkes Treysa erfolgt überwiegend im Mischwassersystem aus den Stadtteilen Treysa, Ziegenhain, Niedergrenzebach, Trutzhain, Frankenhain und Ascherode.

Wesentliche Industriebetriebe und andere große Einzeleinleiter im Einzugsgebiet der Kläranlage Treysa sind eine Schlachtereier mit Viehgroßhandlung, eine Brauerei, das Kreiskrankenhaus, eine JVA, ein Sägewerk und ein Diakoniezentrum.

Die Anlage umfasst zu Beginn des Vorhabens neben der mechanischen Reinigungsstufe eine Belebungsanlage mit einer zweistraßigen Kaskadendenitrifikation. Die Nitrifikationsbecken sind mit einer Druckluftbelüftung ausgestattet. Die erste Nitrifikationskaskade wird unabhängig vom zweiten und dritten Nitrifikationsbecken belüftet. Die erste Nitrifikation ist mit Keramikbelüftern ausgestattet, die Nitrifikationsbecken 2 und 3 mit Membranbelüftern.

Die Schlammbehandlung besteht aus einer Schlammfäulung, der Faulturm hat ein Volumen von 1.200 m³. Da die Schlammmenge (Primär- und Überschussschlamm) bei rund 40 m³/d liegt, stehen freie Kapazitäten für die Mitbehandlung von Co-Substraten oder Klärschlämmen aus anderen Kläranlagen zur Verfügung. Das anfallende Faulgas wird in einem drucklosen Gasspeicher (V=300 m³) gespeichert. Das gespeicherte Faulgas wird in

einem BHKW ($50 \text{ kW}_{\text{el}}$) verwertet, welches zum einen Strom für den Eigenbedarf erzeugt und zum anderen den Faulturm und das Betriebsgebäude beheizt. Ein Teil des Faulgases muss über die Notfackel verwertet werden, da die Leistung des BHKWs für die Gasmenge zu klein ist. Der ausgefaulte Schlamm wird in zwei Schlammsilos zwischengespeichert und als Nassschlamm landwirtschaftlich verwertet. Falls das Speichervolumen in den Silos nicht ausreicht, stehen drei Schlammbeete zur Speicherung zur Verfügung. Das in den Silos und Schlammbeeten anfallende Trübwasser wird ungeregt in den Zulauf zur Kläranlage geleitet.

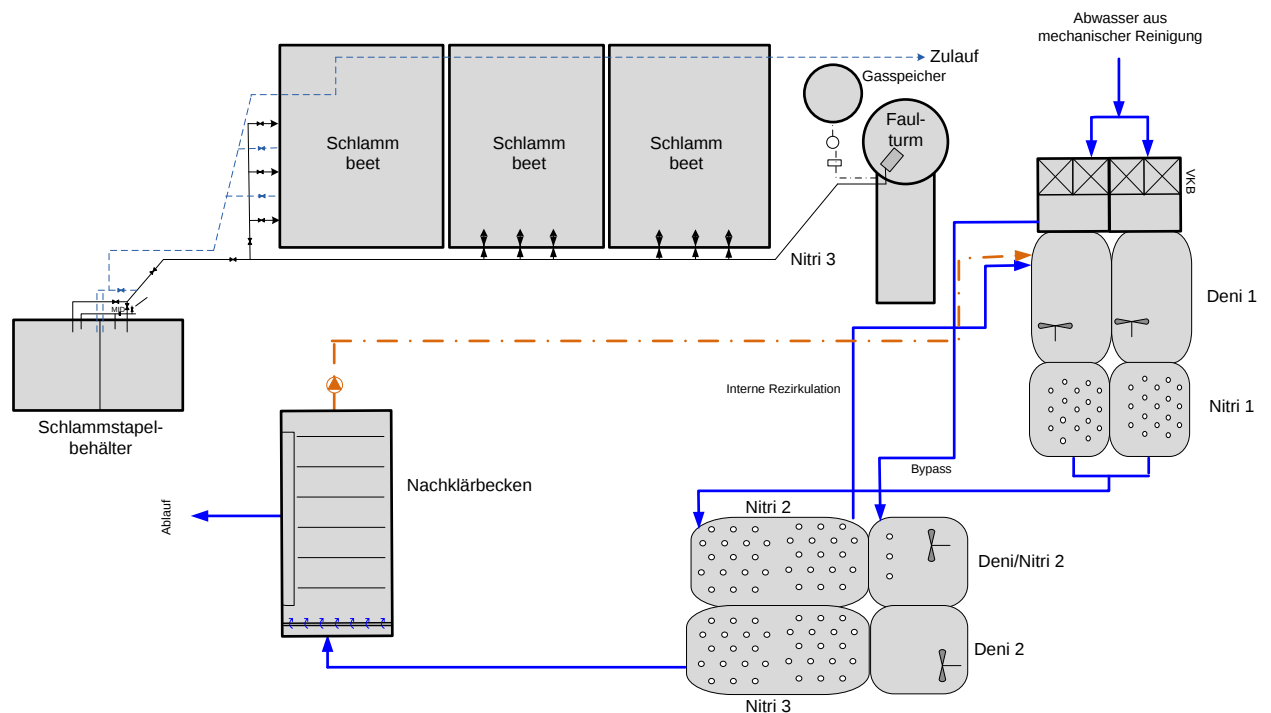


Abbildung 1: Verfahrensschema Kläranlage Treysa im AUSGANGS-Zustand

Bereits bei der Erweiterung für die gezielte Nährstoffelimination (1996 bis 1998) wurde auf Energieeffizienz geachtet. Bis 2012 ist die Belastung der Kläranlage erheblich gestiegen, so dass die Anlage gelegentlich an ihre Kapazitätsgrenzen gelangt.

Der Stromverbrauch der Kläranlage lag in 2011 bei rund 653 MWh/a bzw. auf die mittlere CSB-Fracht ($26.000 \text{ EW}_{\text{CSB}}$) im Zulauf zur Kläranlage bezogen bei rund $25,1 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{d})$.

Aus der oben Ausgangssituation ergeben sich folgende Problem- und Ansatzpunkte:

- Problemlage:
 - Hohe organische Schmutzfrachten der Indirekteinleiter, die zur Überlastung der Kläranlage Treysa führen
 - Klärgasüberschuss, der wg. fehlendem Wärmebedarf auf der Kläranlage Treysa nicht mehr effizient durch KWK-Anlage verwertet werden kann
 - Rückbelastung von N_{ges} aus dem Trübwasser der Schlammeindickung im Schlammsilo führt zu erhöhten $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen der Kläranlage Treysa

- Motivations- und Ansatzpunkte für das UIP-Projekt:
 - CSB-Fracht der Indirekteinleiter durch Abtrennung von Konzentraten als Co-Substrat im Faulturm nutzen
 - Klärgasüberschuss in externem Satelliten-BHKW mit vollständiger Abwärmenutzung einsetzen
 - Rückbelastung durch Deammonifikation reduzieren
 - Überlastung der Kläranlage reduzieren

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Aufgrund des Anstiegs der Zulaufbelastung wollen die Stadtwerke im Rahmen einer umfassenden verfahrenstechnischen und energetischen Optimierung zeigen, dass selbst bei konventionellen Kläranlagen, die bereits ein gutes bis sehr gutes Niveau der Energieeffizienz erreicht haben, noch ein Optimierungspotenzial besteht, wenn **Systemgrenzen** zwischen dem Träger der Abwasserbehandlung, Indirekteinleitern und externen Partnern wie Nachbarschaftskommunen und Einrichtungen mit großem Wärmebedarf mit unkonventionellen Ansätzen überwunden werden.

Dabei sollen nicht nur die Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage gesteigert, sondern auch die Emissionen klimaschädlicher Gase verringert und die Ablaufqualität der Anlage verbessert werden. In der Summe soll die Kläranlage Treysa als größter Stromverbraucher der Stadtwerke ihren Energiebedarf überwiegend selbst decken und zusätzlich Klärgas an ein externes BHKW liefern.

Im Einzelnen sollen durch die Umsetzung unterschiedlichster Maßnahmen die folgenden Ziele erreicht werden:

1. Verringerung der Zulaufkraft um 5%
2. Senkung des Stromverbrauches um 20%
3. Erhöhung des einwohnerspezifischen Klärgasanfalls auf 30 l/(EW*d)
4. Erhöhung der Stromerzeugung und der Nutzwärme
5. Verbesserung der Reinigungsleistung bzgl. Stickstoffelimination
6. Senkung des Ausstoßes an CO₂-Äquivalenten

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Im Rahmen des Förderprogramms vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB) wurden folgende Maßnahmen zur energetischen Optimierung geplant und umgesetzt:

1. Mitfaulung von Klärschlämmen der Nachbargemeinde Willingshausen (drei Kläranlagen der Größenklasse 2)

In der Nachbargemeinde sind drei kleinere Kläranlagen vorhanden, die bisher ihre Anlagen (SBR, Umlaufbecken, Tropfkörper) mit simultaner aerober Stabilisierung des Klärschlammes betrieben haben. Die Schlämme wurden landwirtschaftlich

verwertet, wobei die Schlämme lediglich statisch eingedickt sind.

Im Rahmen des UIP-Förderprogrammes wurde die Klärschlammlieferung an die Kläranlage Treysa organisatorisch, technisch und vertraglich geregelt. Die Mitbehandlung der Klärschlämme der Gemeinde Willingshausen wurde von der zuständigen Wasserbehörde im April 2013 genehmigt. Seit dem Vorliegen der Genehmigung werden die Klärschlämme im Faulturm der Kläranlage Treysa ausgefault.

Die Jahresmenge des angelieferten Klärschlammes liegt bei rund 4.300 m³/a bzw. bei 82 t TS/a (TS rund 2%). Er wird gemeinsam mit dem Überschussschlamm der Kläranlage Treysa maschinell auf ca. 6% eingedickt, so dass sich die Faulturmbeschickungsmenge auf rund 4m³/d reduziert und somit noch Kapazitäten für die Co-Vergärung im Faulturm zur Verfügung stehen. Ziel dieser interkommunalen Zusammenarbeit war aus energetischer Sicht die Steigerung der Faulgasproduktion in Treysa und ein verringerter Strombedarf für die nicht mehr erforderliche aerobe Stabilisierung der Schlämme auf den 3 Kläranlagen der Gemeinde Willingshausen.

2. Bau einer Annahmestation für Co-Substrate von Indirekteinleitern und Ausarbeitung eines Konzeptes zur Abtrennung von Konzentraten bei zwei Indirekteinleitern

Die Speicherkapazität des vorhandenen Voreindickers kann bei Zufluss im freien Gefälle nur teilweise genutzt werden. Bei zeitweise gehäufte Annahme von Co-Substraten muss dieses stoßweise in den Faulturm gepumpt werden, was zu starken Spitzen beim Gasanfall führt. Diese Gasmengen können nicht mehr über das BHKW genutzt oder zwischen gespeichert werden, so dass sie abgefackelt werden müssen. Umgekehrt reicht die zwischengespeicherte Menge ggf. nicht aus, um bei verringertem Schlammanfall und entsprechend geringerem Gasanfall einen Ausgleich für eine gute Auslastung des BHKWs zu erreichen.

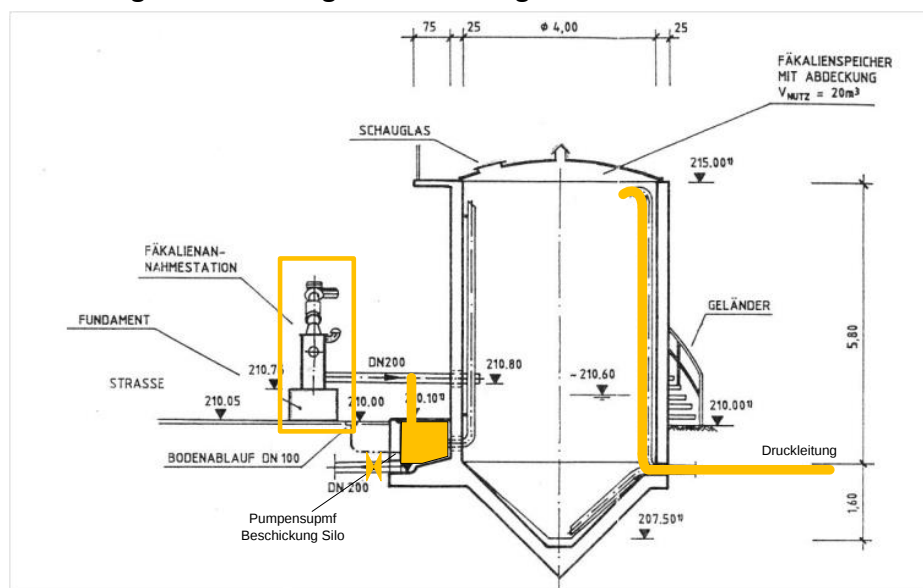


Abbildung 2: Umbau des vorhandenen Voreindickers zur Speicherung von Co-Substraten

Deshalb soll durch eine Beschickungspumpe auch das über dem derzeitigen Einlauf gelegene Behältervolumen aktiviert und das nutzbare Volumen von 20 auf 70 m³ erhöht werden. Die Beschickungspumpe muss frequenzgeregelt gesteuert werden, um die wechselnden Zuflüsse aus der Entleerung eines Tank- oder Saugwagens abnehmen zu können. Über eine neue Füllstandsmessung im Pumpensumpf wird die Pumpe geregelt. Als Förderleistung der Beschickungspumpe (Drehkolbenpumpe) werden 60 m³/h angesetzt, damit ein Anlieferfahrzeug mit 20 m³ Volumen in ca. 20 Minuten entleert werden kann. Neben dem Umbau des ehemaligen Voreindickers, war eine neue Annahmestation (Feinrechen) erforderlich, um Störstoffe im Co-Substrat sicher zu entfernen. Durch die Siebung in der Fäkalannahmestation mit Lochdurchmesser von 6 mm können keine groben Feststoffe zur Pumpe gelangen. Die Fäkalannahmestation (Zulaufmenge ca. 60 m³/h) wurde für den durchgehenden Winterbetrieb vollständig isoliert und mit allen erforderlichen Begleitheizungen ausgestattet.

Als Co-Substrat konnten Reststoffe aus der Süßigkeitenherstellung im Faulturm der Kläranlage Treysa vergärt werden. Zukünftig sollen Reststoffe aus der Herstellung von medizinischen Infusionen verwertet werden.

Im Einzugsgebiet der Kläranlage Treysa sind zwei Indirekteinleiter (Brauerei und Holz Trocknung/Holzdämpfung) vorhanden, die bisher ihre Konzentrate über die Kanalisation in die Kläranlage eingeleitet haben und deren Konzentrate sich für eine Co-Vergärung im Faulturm der Kläranlage Treysa eignen. Die Brauereihefen (rund 25 m³/a) können ohne Umbaumaßnahmen vom restlichen Abwasserstrom der Brauerei abgetrennt werden. Zur Abtrennung und Aufkonzentrierung der Kondensate aus der Holzdämpfung, ist jedoch ein Umbau auf dem Fabrikgelände erforderlich.

3. Bau einer Klärgasleitung zur Heizzentrale eines benachbarten Diakoniezentrums und Bau eines Satelliten-BHKWs für Klärgas- und Erdgasnutzung mit vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme- und Strommenge für den Eigenbedarf

Das BHKW (50 kW_{el}) auf der Kläranlage soll künftig strikt wärmegeführt betrieben und der Wärmeverbrauch durch Variation der Faulturmtemperatur ausgeglichen werden. Der vom bestehenden BHKW produzierte Strom wird weiterhin durch den Betrieb der Kläranlage selbst genutzt. In Verbindung mit den sonstigen Maßnahmen zur Steigerung der Faulgasproduktion (u. a. Co-Vergärung) entsteht ein weiterer Überschuss von Klärgas, so dass die Kapazität des vorhandenen BHKW nicht mehr ausreicht, um das anfallende Faulgas vollständig zu verstromen. Deshalb wurde ein zweites, neues BHKW errichtet.

Da die Wärmemenge von zukünftig zwei BHKWs nicht mehr alleine von der Kläranlage Treysa abgenommen werden kann, wird das neue BHKW, das mit Klärgas und Erdgas betrieben werden kann, in der Heizzentrale des nahe liegenden

Diakoniezentrum (DZ) aufgestellt. Das Faulgas wird nach Trocknung durch ein Kälteaggregat über eine Faulgasleitung von rund 800 Meter Länge zum Gelände des DZHs geführt. Die Wohngebäude, Kliniken, Großküche und Wäscherei dieses Zentrums werden über ein vorhandenes Nahwärmenetz mit Groß-Wärmespeicher mit Wärme versorgt. Zur Beheizung werden bereits 2 Erdgas-BHKWs mit jeweils 200 kW_{el} Nennleistung für die Grundlast und ein Erdgaskessel mit 1 MW_{th} für die Spitzenlast eingesetzt. Dabei läuft ein BHKW ganzjährig auf Vollast. Für die (Ab-)Wärme des neuen BHKWs wird somit eine ganzjährige, vollständige Wärmeabnahme garantiert. Der vom Satelliten-BHKW erzeugte Strom wird vollständig vom Diakoniezentrum selbst genutzt. Von einer Nutzung des erzeugten Strom auf der Kläranlage wurde aufgrund der Kosten (Verlegung Stromkabel zur Kläranlage) abgesehen, auch eine Einspeisung ins öffentliche Netz wurde nicht vorgesehen.

Für die Auslegung des neuen Satelliten-BHKWs wird ein zukünftiger Faulgasanfall auf der Kläranlage Treysa von jährlich 317.000 m³ mit einem Heizwert von 6,1 kWh/m³ angenommen. Deshalb wird die erforderliche elektrische Leistung des neuen BHKW auf 40 - 50 kW festgelegt.

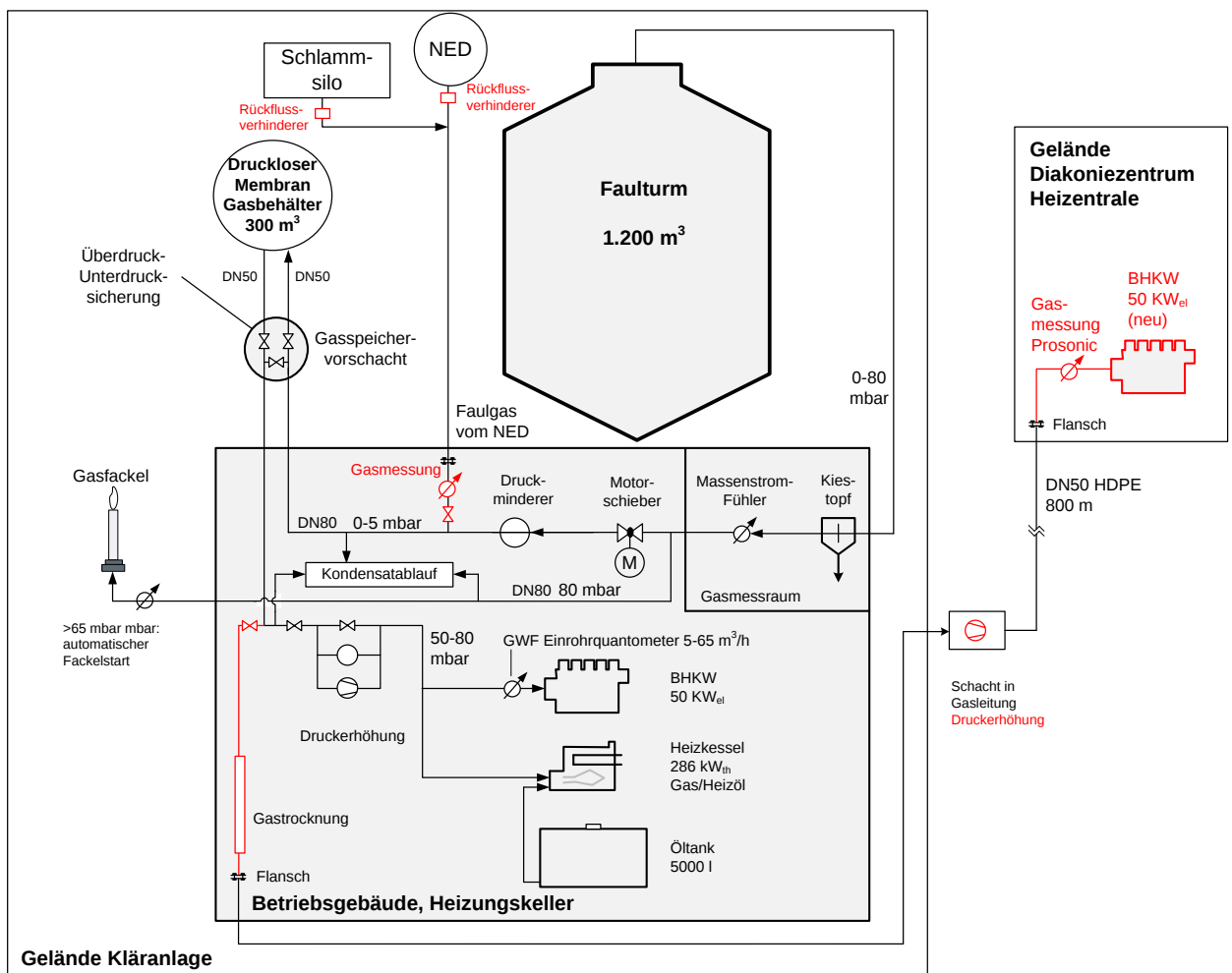


Abbildung 3: Prinzipische Skizze Gasverwertung

4. Klärung der juristischen Fragestellungen und Erstellung eines Vertragsmodells zur Lieferung von Klärgas an ein externes Unternehmen und zum Bau und Betrieb eines Satelliten-BHKWs

Die Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärgas zur Eigenbedarfsdeckung eines Dritten wirft zahlreiche energie- und steuerrechtliche Fragen auf, die im Vorfeld der technischen Umsetzung zu klären waren.

Ziel der Vertragsgestaltung war, die Stromerzeugung durch vollständige Eigenbedarfsdeckung bei einem Dritten von gesetzlichen Umlagen frei zu halten ohne dem Abnehmer des Klärgases unzumutbare wirtschaftliche Risiken zuzumuten. Dies war vor allem deshalb problematisch, weil die Stadtwerke keine bestimmte Liefermenge an Klärgas zusagen konnten. Auf der anderen Seite sollte vermieden werden, dass die Stadtwerke unzulässigerweise privatwirtschaftliche Aktivitäten übernehmen oder als Stromlieferant tätig sein werden. Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden Gespräche mit der Kommunalaufsicht des hessischen Städte- und Gemeindebundes sowie einem Steuerberater geführt. Außerdem wurde eine spezialisierte Rechtsanwaltskanzlei eingeschaltet, um eine rechtskonforme vertragliche Regelung mit dem Diakoniezentrum zu finden, die eine optimale Ausschöpfung der Fördermöglichkeiten erlaubt.

Gewählt wurde schließlich ein Pachtvertrag, bei dem die Stadtwerke das BHKW und die Klärgasleitung auf eigene Rechnung bauen, das BHKW an das Diakoniezentrum als Betreiber verpachten und die überschüssige Menge an Klärgas zur - teilweisen - Substitution des ansonsten eingesetzten Erdgases liefern. Dabei trägt das DZ als Betreiber das wirtschaftliche Risiko für den Betrieb des BHKW, nicht aber für Amortisation der Gesamtanlage mit Klärgasleitung. Da der erzeugte Strom und die Wärme vollständig selbst genutzt werden, kann der KWK-Zuschlag in voller Höhe genutzt werden und es müssen keine EEG-Umlage oder andere staatliche Umlagen oder Steuern abgeführt werden.

In steuerrechtlicher Hinsicht konnte mit der Kommunalaufsicht geklärt werden, dass es sich bei dem Projekt um eine - gesetzlich geforderte - Verwertung des Klärgases als Reststoff der Abwasserbehandlung handelt und dies insofern als Teil einer geordneten Abwasserbeseitigung betrachtet werden kann. Damit ist der Verkauf des Klärgases mehrwertsteuerfrei und die Aktivität kann aufgrund der fehlenden Liefergarantie auch nicht von einem privaten Dritten übernommen werden. Die Anmeldung eines separaten Gewerbebetriebes für diese Aktivität ist ebenfalls nicht erforderlich und die Stadtwerke üben aufgrund des Pachtvertrages keine unzulässigen Finanzierungsdienstleistungen aus.

Erheblicher Klärungsbedarf ergab sich auch im Zusammenhang mit dem Netzanschluss und den vom Netzbetreiber geforderten Sicherheits- und Systemdienstleistungen. Da das Satelliten-BHKW als zusätzliches Aggregat im Verbund mit den 2 bereits bestehenden, deutlich größeren Erdgas-BHKWs (2 mal

200 kW_{el}) betrieben wird, war die Frage des Anlagenbegriffs und damit der von der Gesamtgröße der BHKW-Anlage abhängigen Anforderungen an den Netz- und Anlagenschutz zu klären. Während für die vorhandenen BHKWs Bestandsschutz gilt, hätte das neue, deutlich kleinere BHKW bei einer Einstufung als Teil einer Gesamtanlage mit 450 kW die neuen, sehr anspruchsvollen Anforderungen an große Anlagen (gemäß BDEW-Richtlinien für Anlagen am Mittelspannungsnetz über 100 kW_{el}) erfüllen müssen. Dies war technisch kaum umsetzbar und konnte in Verhandlungen mit dem Netzbetreiber abgewendet werden. Das neue BHKW wurde vielmehr im Sinne des KWK-Gesetzes als neue, eigenständige Anlage mit einer Leistung von unter 100 kW_{el} betrachtet, für die nur die geringeren Anforderungen der VDEW Anwendungsregel ARN 4501 gelten.

5. Geregelte Dosierung der Konzentrate und Schlämme in den Faulturm zur bedarfsgerechten Gaserzeugung (Verwirklichung eines Schlamm- und Co-Substrat-Managements)

Die Klärgaserzeugung und –verwertung im Rahmen des UIP-Projektes wurde unter Nutzung der vorhandenen und der neu geschaffenen Anlagenteile völlig neu konzipiert. Durch einen gezielten Schlammabzug und eine Bewirtschaftung der Co-Substrate im ehemaligen Voreindicker (Nutzvolumen: 70 m³) soll die Klärgasproduktion so eingestellt werden, dass der Gasbedarf der beiden BHKWs möglichst vollständig gedeckt, aber auch kein Abfackeln von Gasüberschüssen notwendig wird. Dabei wird der Gasspeicher (Nutzvolumen 300 m³) als Ausgleichbehälter genutzt.

Das BHKW auf der Kläranlage läuft vorrangig wärmegeführt, wobei der Wärmebedarf über die Soll-Temperatur des Faulturms als Haupt-Wärmeabnehmer in gewissem Umfang verändert werden kann.

Übersteigt die Klärgasproduktion die zur Deckung des Wärmebedarfs der Kläranlage im BHKW erforderliche Gasmenge, steigt der Füllstand im Gasspeicher. Das BHKW im Diakoniezentrum wird dann mit Klärgas beschickt, sobald ein gewisser Soll-Füllstand im Gasspeicher erreicht ist. Das BHKW im DZ läuft dabei als Grundlastaggregat kontinuierlich auf Volllast (50 kW_{el}) und wird bei fehlender Verfügbarkeit von Klärgas mit Erdgas betrieben. Dabei wird eine Mindestbetriebsdauer für den Klärgasbetrieb angestrebt, um ein häufiges Umschalten zwischen Klärgas- und Erdgasbetrieb zu vermeiden. Bei zeitweise sehr hohem Klärgasanfall (d.h. bei sehr hohem Füllstand im Gasspeicher) kann das BHKW der Kläranlage zur Vermeidung von Fackelverlusten unabhängig vom Wärmebedarf auf Volllastbetrieb umschalten und zusätzlichen Strom erzeugen. Die überflüssige Abwärme bei maximaler Faulturmtemperatur wird dann über den Notkühler abgeführt. Dies ist aber nur sehr selten notwendig.

Die neue Regelung betrifft folgende Anlagenteile bzw. Prozessschritte:

Primärschlammabzug über den Pumpenschacht in den Faulturm

- Maschinelle Überschussschlammvoreindickung
- Bewirtschaftung der Co-Substrate über den Voreindicker

- Betrieb des BHKWs auf der GKA Treysa
- Betrieb der Faulturmheizung auf der GKA Treysa
- Betrieb des Satelliten-BHKWs

Für die Gasproduktion aus Primär- und Überschussschlamm wurden rund 500 m³/d (400-600 m³/d) angesetzt. Aus einem Kubikmeter Co-Substrat können zusätzlich je nach Art und Konzentration ca. 5 bis 50 m³ Klärgas erzeugt werden. Die Fäkalienpumpe (Beschickung des Faulturms mit Co-Substrat aus dem Voreindicker) hat eine Förderleistung von 6-30 m³/h.

Der Primärschlammabzug aus der Vorklärung in den Faulturm bleibt wie bisher bestehen, wobei die Taktzeiten so optimiert werden, dass eine maximale Voreindickung in der Vorklärung erreicht wird. Die Gasproduktion aus dem Primärschlamm dient damit quasi als Grundlast, wobei davon ausgegangen wird, dass diese Grundlast immer von einem der beiden BHKWs abgenommen werden kann.

Der Überschussschlammabzug wird ebenfalls wie bisher entsprechend dem TS-Gehalt in der Belebung manuell ein- und ausgeschaltet und der eingedickte Überschussschlamm direkt in den Faulturm gefördert. Allerdings kann bei hohem Füllstand im Gasspeicher (z.B. Füllstand > 90 %) der Überschussschlamm-Abzug gestoppt und für maximal ein bis 2 Tage das Belebungsbecken mit leicht erhöhtem TS-Gehalt betrieben werden. In dieser Zeit sollen keine Überschuss-Schlämme aus anderen Kläranlagen angenommen werden.

Die Konzentrate im Voreindicker werden in Abhängigkeit vom Füllstand im Gasspeicher und dem Befüllungsgrad im Voreindicker in den Faulturm gegeben.

6. Bau eines Nacheindickers zur Abtrennung des Trübwassers und Bau einer zweistraßigen Scheibentauchkörperanlage zur Trübwasserbehandlung

Das Trübwasser aus der statischen Schlammeindickung in den Schlammsilos wurde bisher unbehandelt und ungeregt in den Zulauf zur Kläranlage Treysa gegeben. Dies führte zu Belastungsspitzen, die durch die Trübwasserbehandlung mittels Deammonifikation vermieden werden.

Nacheindicker

Zur Abtrennung des warmen Trübwassers wurde ein runder Nacheindicker mit einem Nutzvolumen von ca. 130 m³ geplant.

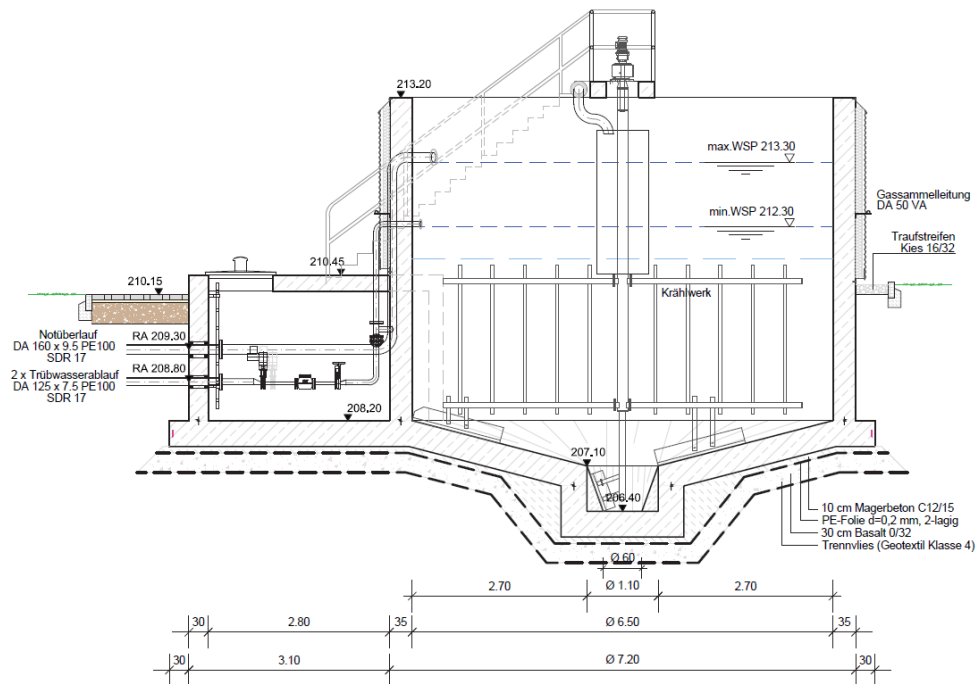


Abbildung 4: Nacheindicker

Der Nacheindicker verfügt über ein Krähwerk, das aus einem langsam laufenden Rührwerk mit zwei Auslegearmen und einem Einlaufzylinder besteht.

Deammonifikation

Bei der Deammonifikation wird nur ein Teil (ca. 60 %) des Ammoniums mit Sauerstoff zu Nitrit oxidiert und das restliche Ammonium mit Hilfe des gebildeten Nitrits anaerob zu molekularem Stickstoff oxidiert. So kann auf die Zugabe der Kohlenstoffquelle (C-Quelle) verzichtet und die benötigte Belüftungsenergie gegenüber dem üblichen Nitrifikationsverfahren um bis zu 60 % reduziert werden. Ein weiteres deutliches Argument für die Deammonifikation betrifft die günstige CO₂-Bilanz, da durch den autotrophen Stickstoff-Eliminationsprozess mehr CO₂ gebunden als gebildet wird. Die autotrophen Mikroorganismen haben allerdings eine extrem geringe Wachstumsrate im Vergleich zu sonstigen Mikroorganismen im Belebtschlamm und müssen daher durch eine besondere Prozessführung (z. B. höhere Temperatur, sessiler Biofilm) angereichert werden.

Obwohl die Deammonifikation auf dem Scheibentauchkörper der Deponiesickerwasserreinigungsanlage Mechernich bereits in den achtziger Jahren festgestellt und diese Anlage zur Animpfung vom Trägermaterial für Versuchsanlagen verwendet wurde, wird der Scheibentauchkörper als reine Deammonifikationsanlage zur Trübwasserbehandlung derzeit nicht eingesetzt. Ein Scheibentauchkörper (STK) zeichnet sich durch robuste Verfahrenstechnik aus, die sehr wenig Energie für die Belüftung und Umwälzung benötigt. Aus diesem Grund wird die Deammonifikation des Schlammwassers auf der GKA Treysa mit Hilfe eines STK verwirklicht.

Das vorhandene Konzept der Schlammeindickung wurde um einen Nacheindicker

ergänzt. Dieser wurde so bemessen, dass er gleichzeitig als Vorlage zur gleichmäßigen Beschickung des Scheibentauchkörpers mit ca. 30°C warmen Trübwasser dient. Damit die hohe Temperatur des Schlammwassers erhalten bleibt und der Zulauf des Scheibentauchkörpers nicht erwärmt werden muss, sollte der Nacheindicker isoliert werden.

Die beiden Scheibentauchkörper wurden wie folgt bemessen:

- Zulauf zum NED: 60 m³/d, TS: 2,5%, nach NED: 5%
- Zulauf zum STK (Deammonifikation): 30m³/d
NH₄-N- Konzentration: 800 mg/l (24 kg NH₄-N/d)
- Auslegung: NH₄-N-Flächenbelastung: 2,5-3 g /(m²*d):
erforderliche Scheibenfläche: 9.600 - 8.000 m²
- bei Scheibendurchmesser von 2,7 m: 842 - 702 Scheiben
- Temperatur im Ablauf NED: ca. 30°C

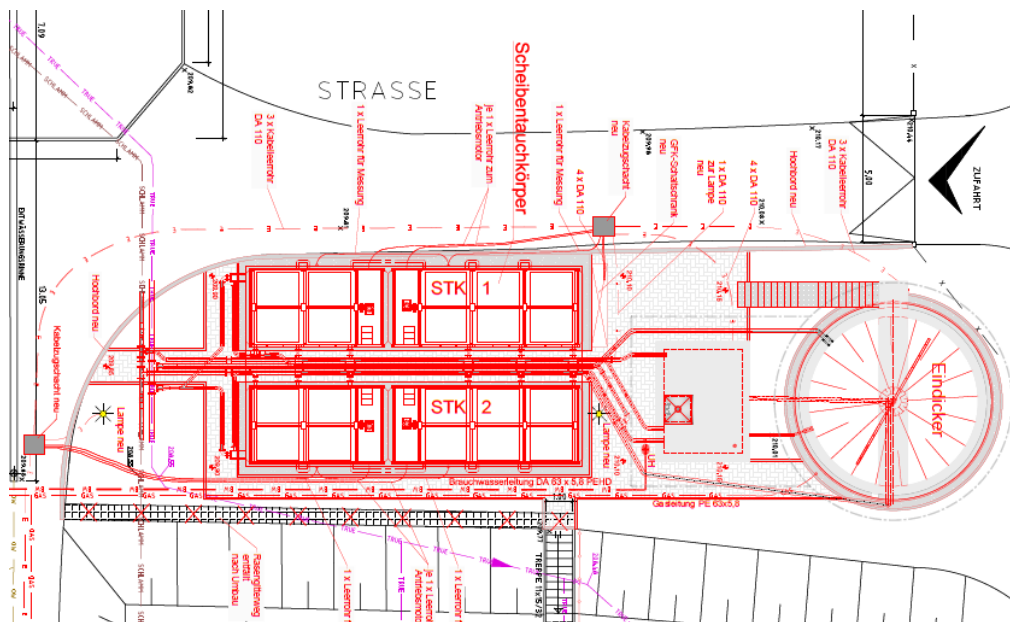


Abbildung 5: Lageplan Scheibentauchkörper

7. Bau einer Gashaube zur Erfassung der Gasemission im Schlammstilo inkl. eines geeigneten Gasmengenzählers

Der Nacheindicker sollte mit einer schwimmenden Haube zur Erfassung der Gasemission abgedeckt und das erfasste Gas ohne Druckerhöhung zum vorhandenen Gasspeicher geleitet werden. Da der Nacheindicker jedoch zur Trübwasservorlage umfunktioniert werden musste (siehe Punkt 5, Kapitel 2.3), wurde auf die Abdeckung des Nacheindickers verzichtet und lediglich eine Pilothaube im Schlammstilo installiert. Die Haube hat eine Abmessung von 1,5 auf 1,5 m und deckt somit eine Fläche von 2,25 m² ab. Die Haube wurde aus 8 mm dickem PE gefertigt, der Schwimmkörper besteht aus zwei übereinanderliegenden PE-Rohren (unteres Rohr: DN 125, 4 mm Wandstärke; oberes Rohr DN 140, 4 mm Wandstärke), welche an allen Seiten der Haube befestigt wurden.



Abbildung 6: Gasdichte Haube

Das Dach hat eine Neigung von 15°, so dass das Niederschlagswasser abfließen kann.

8. Austausch von Belüftern im Nitrifikationsbecken 1

Die 20 Jahre alten Keramikbelüfter in der Nitrifikation 1 wurden durch energieeffiziente Streifenbelüfter ersetzt.

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Im Rahmen der Umsetzung der geplanten Projekte wurden einige Anpassungen notwendig: Umnutzung des Nacheindickers als Trübwasserspeicher, da sich der Schlamm nicht wie in den Vorversuchen im Nacheindicker abgesetzt hat und Nachrüstung einer Klärgastrocknung, da sich Kondensat in der Gasleitung zum Satelliten-BHKW angesammelt hat. .

Die realisierten Maßnahmen des Vorhabens werden in den nachfolgenden Unterpunkten einzeln von der Planungsphase bis zur Inbetriebnahme beschrieben, wobei die erforderlichen Genehmigungen im Kapitel 2.4 dargestellt sind.

1. Mitfaulung von Klärschlämmen der Nachbargemeinde Willingshausen

Sowohl die Gemeinde Willingshausen als auch die Stadtwerke Schwalmstadt haben eine gemeinsame Klärschlammbehandlung angestrebt. Nach Vorliegen der Genehmigung, konnten die Details für die Klärschlammlieferung abgestimmt und

vertraglich geregelt werden.

In diesem Vertrag wurde neben einem Kostenverteilungsschlüssel (z.B. Kosten für den Transport, die Eindickung und die landwirtschaftliche Verwertung) zwischen den Stadtwerken Schwalmstadt und der Gemeinde Willingshausen auch die Organisation der Lieferungen zwischen den beiden Vertragspartnern festgelegt.

2. Bau einer Annahmestation für Co-Substrate von Indirekteinleitern und Ausarbeitung eines Konzeptes zur Abtrennung von Konzentraten bei zwei Indirekteinleitern

Der Bau der Annahmestation wurde beschränkt ausgeschrieben. Dieser Auftrag umfasste den Bau eines Feinrechens, den Umbau des ehemaligen Voreindickers zum Speicher, die Messtechnik (z. B. Erfassung der gelieferten Mengen), die aus Frostschutzgründen im Pumpenkeller des Betriebsgebäudes trocken aufgestellte Drehkolbenpumpe zur Beschickung des Speichers und die Anbindung an den Speicher.

Die Abtrennung der Brauereihefen konnte kurzfristig ohne weitere Baumaßnahmen umgesetzt werden. Da die Mengen sehr gering sind, ist keine Abstimmung der Lieferungen zwischen dem Betriebspersonal der Kläranlage Treysa und den Mitarbeitern der Brauerei erforderlich. Die angelieferten Mengen (jeweils rund 3 m³) können direkt über den Primärschlammschacht in den Faulturm gefördert werden.

Die Abtrennung des Dämpfkondensates ist derzeit noch nicht umgesetzt, da auf dem Gelände der Firma Umbaumaßnahmen zur Abtrennung und Eindickung des Dämpfkondensates erforderlich sind. An einem anderen Firmenstandort wurden Versuche zur Wiederverwendung des Dämpfkondensates aus der Holztrocknung durchgeführt, was gleichzeitig zur Aufkonzentration des Dämpfkondensates führt. Das Verfahren wurde nach intensiver Pilotierung im Sommer 2014 großtechnisch am zweiten Standort umgesetzt. Beim Betrieb der Aufbereitung des Dämpfkondensates zeigte sich jedoch, dass das dort realisierte Verfahren nicht für den Standort Schwalmstadt-Treysa geeignet und vor allem nicht wirtschaftlich umsetzbar ist, insbesondere da in Treysa eine Wasserwiederverwendung nicht erforderlich ist. Aus diesem Grund wurden eigene Pilotversuche zur Aufkonzentrierung des Dämpfkondensates des Sägewerkes durch Nutzung von Abwärme des Restholzheizkessels durchgeführt. Während der Projektlaufzeit war die großtechnische Umsetzung zur Eindickung des Dämpfkondensates nicht mehr möglich, sie ist für das Jahr 2017 geplant.

3. Bau einer Klärgasleitung zur Heizzentrale eines benachbarten Diakoniezentrums und Bau eines Satelliten-BHKWs für Klärgas- und Erdgasnutzung mit vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme- und Strommenge für den Eigenbedarf

Wie Abschnitt 2.2 beschrieben, waren zunächst einige rechtliche Fragen zu klären, die sich auch auf die technische Konzeption der Klärgasleitung und des BHKWs auswirkten. So waren die Messeinrichtungen und die Schnittstellen zur Gebäudeleittechnik des DZ und zum Prozessleitsystem der Kläranlage so einzurichten, dass die Betreiberfunktion des DZ sicher möglich war und die Verknüpfung des Satelliten-BHKW-Betriebes (insbesondere der Wechsel zwischen Klärgas und Erdgas) mit dem Betrieb der Faulung auf der Kläranlage optimiert werden konnte. Das BHKW wurde im Hinblick auf die noch zu deckende Lücke bei der Grundlast an Strom- und Wärmebedarf des DZ auf etwa 50 kW_{el} bemessen. Dies wurde auch als ausreichend zur Abnahme der überschüssigen Klärgasmengen eingeschätzt. Aufgrund des Schwelleneffektes mit deutlich günstigeren Konditionen beim KWK-Zuschlag bis 50 kW_{el} wurde auf dieser Basis das BHKW und die Klärgasleitung bemessen.

Beim Bau der Klärgasleitung waren zunächst Nutzungsrechte für Grundstücke und wasserrechtliche Genehmigungen für die Querung von Gewässern zu klären, was auch Auswirkungen auf den Trassenverlauf, die Bauweise und die Baukosten hatte. Das zunächst geplante kostengünstige Einpflügen der Leitung musste zugunsten des Bohrspülverfahrens aufgegeben werden. Das Einpflügen der Leitung war insbesondere für den Düker unter der Schwalm und für kurze Abschnitte mit Gehölz sowie dem Trassenteil auf der Kläranlage nicht möglich. Deshalb mussten in jedem Fall mehrere Baugruben für das Bohrgerät eingerichtet werden. Die relativ hohen Fixkosten für eine zweite Baustelleneinrichtung (für eine zusätzliche Bereitstellung des Gerätes zum Einpflügen) waren angesichts der verbleibenden relativ kurzen Leitungslänge nicht mehr wirtschaftlich.

Als besonders problematisch erwies sich die Abtrennung von Kondensat im Klärgas, die zunächst durch Kondensatabscheider an den vorgesehenen Tiefpunkten realisiert werden sollte. Tatsächlich kam es aber im Betrieb der Gasleitung zu Kondensatansammlungen an verschiedenen Stellen der Trasse und damit zu einem Verschluss der Leitung. Nachdem zunächst durch Molchen die Leitung mehrfach durchgängig gemacht wurde, musste aufgrund der häufigen und längeren Ausfallzeiten schließlich eine Klärgastrocknung über eine Gaskühlung mit einem Klimagerät nachgerüstet werden. Die Gastrocknung wurde im November 2014 fertiggestellt, musste jedoch im Oktober 2015 umgebaut werden, da sich aufgrund von technischen Fehlern in der Gastrocknung weitere Wassersäcke in der Leitung angesammelt hatten.

Nach Behebung dieser Mängel und Steigerung der Klärgasproduktion konnte sukzessive der Anteil des Betriebes mit Klärgas gesteigert werden und wird sich durch die vorgesehene Kofermentation weiterer Substrate noch deutlich erhöhen. Das BHKW des DZ trägt aber bereits seit Anfang 2014 durch den kontinuierlichen Volllastbetrieb (mit Erdgas) zu einer energieeffizienteren Strom- und Wärmeversorgung des DZ bei und verringert entsprechend den CO₂-Ausstoß.

4. Geregelte Dosierung der Konzentrate und Schlämme in den Faulturm zur bedarfsgerechten Gaserzeugung (Verwirklichung eines Schlamm- und Co-Substrat-Managements)

Nach der Inbetriebnahme der Annahmestation und des Satelliten-BHKWs wurde die geregelte Dosierung der Konzentrate und Schlämme zur bedarfsgerechten Gaserzeugung, entsprechend der Beschreibung unter Punkt 2.2 programmiert. Im Probetrieb wurden einzelne frei einstellbare Schaltpunkte angepasst.

5. Bau eines Nacheindickers zur Abtrennung des Trübwassers und einer zweistraßigen Scheibentauchkörperanlage zur Trübwasserbehandlung

Der Bau des Nacheindickers (Bau und Maschinentechnik) und der Fundamentplatte für die Scheibentauchkörper, inklusive Mess-, Regelungs- und Elektrotechnik wurde mit dem Submissionstermin 25.04.2013 öffentlich ausgeschrieben.

Im Zuge der Baumaßnahmen des Nacheindickers und der Scheibentauchkörper ergaben sich besondere Erschwernisse durch den Baugrund (erforderlicher Verbau), so dass sich die Umsetzung verzögerte. Nach Inbetriebnahme des Nacheindickers im Januar 2014 hat sich gezeigt, dass sich der ausgefaulte Schlamm im Nacheindicker, entgegen den Ergebnissen aus den Vorversuchen im Labor, sehr schlecht absetzt. Somit konnte der Nacheindicker nicht wie geplant für die Abtrennung des Trübwassers und als Vorlage für die Beschickung der Scheibentauchkörper genutzt werden. Aufgrund des schlechten Absetzverhaltens im Nacheindicker musste die Konzeption der Schlammeindickung geändert werden, um die Scheibentauchkörper mit Trübwasser beschicken zu können. Hierzu gab es drei mögliche Lösungsvarianten, von denen die kostengünstigste umgesetzt wurde. Eine Änderung der Leitungsführung ermöglicht es nun, das Trübwasser aus den Schlammspeichern abzuziehen, es im Nacheindicker zwischen zu speichern und anschließend die Scheibentauchkörperanlage zu beschicken. Die Änderungen der Leitungsführung wurden im Juli 2014 realisiert. Da der warme ausgefaulte Schlamm aufgrund der langen Aufenthaltszeit in den Schlammstillen abkühlt und keine zusätzliche Heizung für die Trübwassererwärmung geplant war, können die Scheibentauchkörper nicht mit warmem Trübwasser beschickt werden. Auf eine Isolierung des Nacheindickers wurde daraufhin verzichtet. Die zweistraßige Scheibentauchkörperanlage zur Trübwasserbehandlung wurde beschränkt ausgeschrieben.

Zur Steuerung der Zulaufmenge sind in jeder Zulaufleitung vom Nacheindicker ein motorgetriebener Schieber und ein MID vorgesehen. Die Durchflussmessung (MIDs) regelt den jeweiligen Schieber und somit den Zulauf zum jeweiligen Scheibentauchkörper. Aufgrund der geringen Zulaufmenge erfolgt der Zufluss zeitgetaktet.

Die beiden Scheibentauchkörperstraße in Kompaktbauweise sind für die erdeingebettete Bauweise konzipiert und isoliert. Jede Straße besteht aus 2 Modulen.

Die Scheiben befinden sich auf einer Welle, die mittels FU-geregelten Motoren

gedreht werden, durch die Anpassung der Umdrehungsgeschwindigkeit kann der Sauerstoffgehalt im Reaktor beeinflusst werden. Aus dem gleichen Grund ist eine Niveausteuerung des Ablaufes vorgesehen, so dass die Eintauchtiefe der Scheiben variiert werden kann. Die beiden Scheibentauchkörperstraßen sind sowohl parallel als auch in Reihe betreibbar. Wobei der Reihenbetrieb nicht variabel vorgesehen ist, so dass eine Scheibentauchkörperstraße (STK1) immer zuerst durchflossen wird.

Die Scheibentauchkörperanlage besteht aus mehreren Packungen. Zur Optimierung und zum Einfahren der Anlage können einzelne Packungen umfahren werden und die Anlage auf die Zulauffrachten angepasst werden. Dazu wurden die Zulaufleitungen mit Handschiebern ausgestattet und zu den verschiedenen Packungen geführt.

Eine kontinuierliche Beschickung der beiden Scheibentauchkörper erfolgte nach dem Umbau der Leitungsführung ab Juli 2014. Für die Inbetriebnahme der beiden Scheibentauchkörper wurde neben dem Ingenieurbüro iat auch die Leibnizuniversität Hannover einbezogen, die verschiedene Forschungsvorhaben zur Deammonifikation durchgeführt hat.

Dem Scheibentauchkörper 1 wurde Impfschlamm aus der Deammonifikationsanlage Fulda-Gläserzell zugegeben.

6. *Bau einer Gashaube zur Erfassung der Gasemission im Schlammsilo inkl. eines geeigneten Gasmengezählers*

Mit der Entwicklung eines Konzepts für eine schwimmende gasdichte Abdeckung mit flexibler Gasableitung wurde bereits nach der Ausführungsplanung des Nacheindickers begonnen. Für die Konzeptentwicklung und Auswahl eines für die Anforderungen geeigneten Kunststofftypes wurde mit dem Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik der Hochschule Darmstadt zusammengearbeitet.

Da der Nacheindicker nur als Trübwasservorlage genutzt wird, ist hier nicht mehr mit Faulgasanfall zu rechnen. Die Installation der gasdichten Hauben auf dem Nacheindicker wurde deshalb aufgegeben. Die Ableitung des Gases aus der Abdeckung des Schlammsilos wurde aufgrund der Erfahrungen mit dem Kondensatanfall in der Gasleitung zum Satelliten-BHKW erneut überprüft. Letztlich wurde eine Gashaubenkonstruktion mit definierter Größe angefertigt und im März 2015 auf dem Trübwasserspiegel des Schlammsilos 1 aufgesetzt. Die Gaserfassung wurde aufgrund der zu erwartenden Probleme mit Kondensatbildung in der Leitung und der geringen Gasmenge nicht an den Gasspeicher angebunden.

Die Gashaube wurde im März 2015 auf dem Trübwasserpiegel des Schlammsilos 1 aufgesetzt und die Messdaten seither ausgewertet (siehe Abbildung 12).

7. Austausch von Belüftern im Nitrifikationsbecken 1

Die Streifenbelüfter wurden im Juni 2014 montiert. Auf eine Nachrüstung der vorhandenen Gebläse mit einem FU zur Regelung der Luftmenge musste aus Kostengründen verzichtet werden.

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Folgende Genehmigungsanträge mussten gestellt werden:

- Genehmigungsantrag für die Mitbehandlung von Klärschlämmen einer Nachbargemeinde
- Genehmigungsantrag für die Co-Vergärung zweier Co-Substrate
- Genehmigungsantrag für die Abtrennung von Konzentraten und Mitbehandlung im Faulturm

Neben den oben genannten Genehmigungsanträgen waren folgende Anträge und Abstimmungen erforderlich

- Umweltverträglichkeitsvorprüfung für den Bau des Nacheindickers und der Scheibentauchkörper
- Baugrundgutachten
- genehmigungs- und energierechtliche Fragestellungen beim Bau und Betrieb des Satelliten-BHKWs (siehe Kapitel 2.2; Punkt 4)

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Sämtliche betrieblichen Messdaten, die im Regelbetrieb der Kläranlage erhoben und im Betriebstagebuch dokumentiert werden, wurden für die Erfolgskontrolle ausgewertet.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Für die Durchführung des Messprogramms sind folgende Messungen und Analysen, zusätzlich zu den im Rahmen der Betriebsbetreuung durchzuführenden Messungen und Analysen, erforderlich:

- Messung der Faulgasqualität: Sowohl das Faulgas, welches im Faulturm entsteht, als auch das Faulgas aus dem Schlammsilo wurden auf ihre Zusammensetzung hin analysiert. Der Nachweis der Gasemissionen aus dem Nassschlammager erfolgt über eine kontinuierliche Gasmengenmessung und einzelne Gasanalysen.
- Auswertung der Faulgasproduktion: Für die Ermittlung von spezifischen Werten in (z.B. l/kg oTR) wurden mehrere Analysen der organischen TR-Fracht (Bestimmung von TR-Gehalt und Glühverlust) durchgeführt, Stoffströme bilanziert und Aufenthaltszeiten im Faulturm, im Nacheindicker und im Schlammager ermittelt.

- Auswertung des Faulgasverbrauches, der Strom- und (Nutz-) Wärmeproduktion in den beiden BHKWs sowie die Überprüfung von thermischen und elektrischen Wirkungsgraden.
- Erfassung der Abwassermenge und der Stickstoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage
- Erfassung der Trübwassermenge und der Stickstoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Scheibentauchkörper
- Laboruntersuchungen zur Leistungsfähigkeit der Deammonifikation (Küvettentests, Charakterisierung der Biozönose mit FISH-Test, etc.).
- Aktualisierung der Energieanalyse der GKA Treysa in Anlehnung an den DWA-Standard des neuen Arbeitsblattes A 216 mit Strommessungen auf Ebene der Anlagenteile vor und nach Abschluss der Optimierungs-Arbeiten zur Überprüfung der Einsparungen auf Anlagenteilebene.

Die Probenahmestellen, Analysen und deren Häufigkeit sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 1: Zusammenstellung Analysen

Messstelle	Parameter	mittleres Untersuchungsintervall
Zulauf	NH ₄ -N	1/Woche
	N _{ges}	1/Woche
	CSB	1/Woche
	PO ₄ -P	1/Woche
Zulauf STK	NH ₄ -N	2/Woche
	N _{ges}	2/Woche
	CSB	1/Woche
Ablauf STK1	NH ₄ -N	2/Woche
	N _{ges}	2/Woche
	NO ₃ -N	2/Woche
	CSB	1/Woche
Ablauf STK2	NH ₄ -N	2/Woche
	N _{ges}	2/Woche
	NO ₃ -N	2/Woche
	NO ₂ -N	2/Woche
	CSB	1/Woche
Biofilm STK1	FISH-Test	
Biofilm STK2	FISH-Test	
Überschussschlamm	TS	
	oTS	
Fremdschlämme	TS	
	oTS	
Co-Substrate	CSB	
Faulschlamm	TS	
	oTS	
externe Abwasseranalysen	CSB, NH ₄ -N, NO ₃ -N, NO ₂ -N	
externe Schlammproben	TS, oTS	
Gasanalyse	Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff, Stickstoff, Methan, Schwefelwasserstoff oder Schwefel, gesamt, Wasserstoff	

Zudem wurden Stromverbrauchsmessungen an verschiedenen Aggregaten und eine Schmutzfrachtermittlung im Einzugsgebiet der Kläranlage durchgeführt.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Das Vorhaben konnte in wesentlichen Teilen erfolgreich umgesetzt werden, jedoch traten einige unerwartete Schwierigkeiten auf, die zu terminlichen Verzögerungen und zu einer Kostenerhöhung und zu Anpassungen der Maßnahmen führten:

- Die Durchführung des Vorhabens war von Anfang September 2011 bis Dezember 2013 geplant. Der Zuwendungsbescheid ging Ende September ein. Die Mittel für die Planungsleistungen sowie die Investitionen mussten in den politischen Gremien beschlossen werden. Somit hat sich bereits der Start um etwa 3 bis 4 Monate verschoben.
- Mehrfacher Wechsel und Vakanzen in der Geschäftsführung der Stadtwerke Schwalmstadt und der zweimalige Wechsel des Bürgermeisters von Schwalmstadt als oberster Dienstherr der Stadtwerke führten ebenfalls zu Verzögerungen, da die Entscheidungsfindung erschwert war.
- Für die Co-Vergärung waren wasserrechtliche Erlaubnisse erforderlich. Im Rahmen der Abstimmungen zur Genehmigung der Co-Substrate stand insbesondere die Fragestellung nach der Genehmigungsfähigkeit der Stoffe gem. Anhang B der BioAbfallverordnung im Fokus. Die Abstimmungen waren sehr zeitaufwändig.
- Die Abtrennung der Dämpfkondensate des Sägewerkes stellte sich als technisch sehr aufwändig und kostenintensiv dar. Zur Abtrennung und Aufkonzentration der Dämpfkondensate müssen auf dem Gelände des Sägewerkes Umbaumaßnahmen und eine Anpassung der Steuerung zur Zwischenspeicherung realisiert werden.
- Für die Strom- und Wärmelieferung des Satelliten-BHKWs ergaben sich schwierige energierechtliche Fragen (Zulässigkeit und wirtschaftliche Bedingungen einer Stromlieferung durch die Stadtwerke an einen Dritten). Die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit des Satelliten-BHKWs mussten für verschiedene Varianten und rechtliche Konstruktionen des Vorhabens überprüft bzw. ermittelt werden.
- Im Zuge der technischen Klärung für die Montage des Satelliten-BHKWs ergaben sich zusätzliche Auflagen für den Brandschutz und die Sicherheitseinrichtungen zum Netzanschluss seitens des Netzbetreibers, die zum Teil nur schwer zu erfüllen waren.
- Im Rahmen des Probetriebes des BHKW stellte sich heraus, dass sich -entgegen den Erwartungen- in der Gasförderleitung aufgrund der Trassenführung mit geringem Gefälle durch Kondensatbildung Wassersäcke in der Leitung ansammelten. Aus diesem Grund konnte wiederholt kein Gas zum Satelliten-BHKW gefördert werden.
- Im Zuge der Baumaßnahmen des Nacheindickers und der Scheibentauchkörper ergaben sich besondere Erschwernisse durch den Baugrund (erforderlicher Verbau), so dass sich die Umsetzung verzögerte.
- Nach Inbetriebnahme des Nacheindickers im Januar 2014 zeigte sich, dass sich der ausgefaulte Schlamm im Nacheindicker, entgegen den Ergebnissen aus den Vorversuchen im Labor, sehr schlecht absetzt, so dass der Nacheindicker umfahren werden musste. Somit stand das Trübwasser für die Inbetriebnahme der

Scheibentauchkörper erst später zur Verfügung. Dadurch verzögerte sich die Inbetriebnahme der Deammonifikation.

- Weiterhin wurde aufgrund des schlechten Absetzverhaltens (mit Schwimmschlammabtrieb im Nacheindicker) die Installation der schwimmenden Hauben zur Gaserfassung verschoben bzw. im weiteren Projektverlauf durch eine Haube im Schlammstilo ersetzt.
- Das Einfahren der Scheibentauchkörperanlage wurde zwar durch die Zugabe von Impfschlamm unterstützt, die Ansiedlung der zur anaeroben Ammoniumoxidation befähigten Planktomyceten war jedoch sehr verlangsamt.

Zur Behebung der Schwierigkeiten wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Um die ausstehenden Genehmigungsverfahren zu beschleunigen, wurden viele Gespräche mit der zuständigen Wasserbehörde geführt.
- Zur Klärung der energierechtlichen Fragen wurden wie in Abschnitt 2.2 dargestellt zahlreiche Gespräche geführt und verschiedene Rechts- und Steuerberater herangezogen und die vertraglichen Regelungen zur Überwindung der Systemgrenzen modifiziert.
- Die Leitungsführungen zum Nacheindicker und Scheibentauchkörper wurden angepasst, so dass die Scheibentauchkörper in Betrieb genommen werden konnten
- Nach Einbau einer Gastrocknung und Umbau in 2015 konnte das Kondensat aus dem Klärgas entfernt werden, bevor es zum Satelliten-BHKW gefördert wird. Eine Bildung von Wassersäcken konnte mit dieser Maßnahme verhindert werden.
- Um das Abtrennen der Kondensate aus der Holzdämpfung voranzutreiben, wurden mehrere Fachfirmen angefragt und Gespräche geführt.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Betriebs- und Messergebnisse

Für die Erfolgskontrolle wurden zusätzliche Daten im Zeitraum 1.10.2015 bis 30.09.2016 erfasst und ausgewertet. Teilweise weicht die Darstellung der Ergebnisse von diesem Zeitraum ab bzw. wurden auch Betriebsdaten aus den Jahren 2011 bis 2016 zum Vergleich ausgewertet.

Zulaufbelastung

Die mittlere Zulaufbelastung für die Zeiträume 2011 und Okt. 15-Sept. 16 zeigt die folgende Tabelle.

Bezogen auf mittlere CSB-Zulaufkraft hat sich demnach die Belastung von rund 26.400 EW_{CSB} in 2011 auf 18.600 EW_{CSB} im Zeitraum der Messkampagne verringert. Abgesehen von der Phosphorzulaufkraft hat sich die Belastung für alle untersuchten Parameter erheblich reduziert.

Tabelle 2: Mittlere Abwasservolumenströme und Schmutzfrachten im Zulauf zur GKA Treysa in 2011 und im Zeitraum Okt.15-Sep. 16 (24 h Mischproben)

		2011	2015/2016	
		24 h Mischproben BTB (Probenahme Zulauf Kläranlage, n=24, inkl. Rückbelastung)	24 h Mischproben BTB (Probenahme Zulauf Kläranlage, n=26)	Differenz
Parameter	Einheit	Mittelwert	Mittelwert	
Q _d	[m³/d]	6.526	6.496	
BSB ₅	[kg/d]	1.368	974	- 394
EW ₆₀	[E]	22.803	16.238	- 6.565
CSB	[kg/d]	3.167	2.237	- 930
EW ₁₂₀	[E]	26.391	18.643	- 7.748
N _{ges}	[kg/d]	267	213	-54
EW ₁₁	[E]	24.297	19.339	- 4.958
P _{ges}	[kg/d]	43	45	+ 2
EW _{1,8}	[E]	24.000	24.948	+ 948

Die Verringerung der Zulauffracht konnte teilweise durch die Abtrennung der Hefen einer Brauerei umgesetzt werden. Jedoch schwankten die Zulauffrachten während der Projektlaufzeit in einem sehr großen Bereich, so dass die Verringerung aus der abgetrennten Schmutzfracht zu rund 300 EW zwar errechnet wurde, dieser Einfluss aber nicht annähernd die gemessenen Schwankungen erklären kann.

In der folgenden Abbildung sind die mittleren Zulaufbelastungen in Einwohnerwerten für CSB, BSB₅, TKN und P der Kläranlage Schwalmstadt-Treysa für die Jahre 2011-2015 zusammengestellt. Bis 2013 steigt die Belastung an, ab 2014 sinkt sie jedoch deutlich ab. Die Schwankungsursache wird noch untersucht.

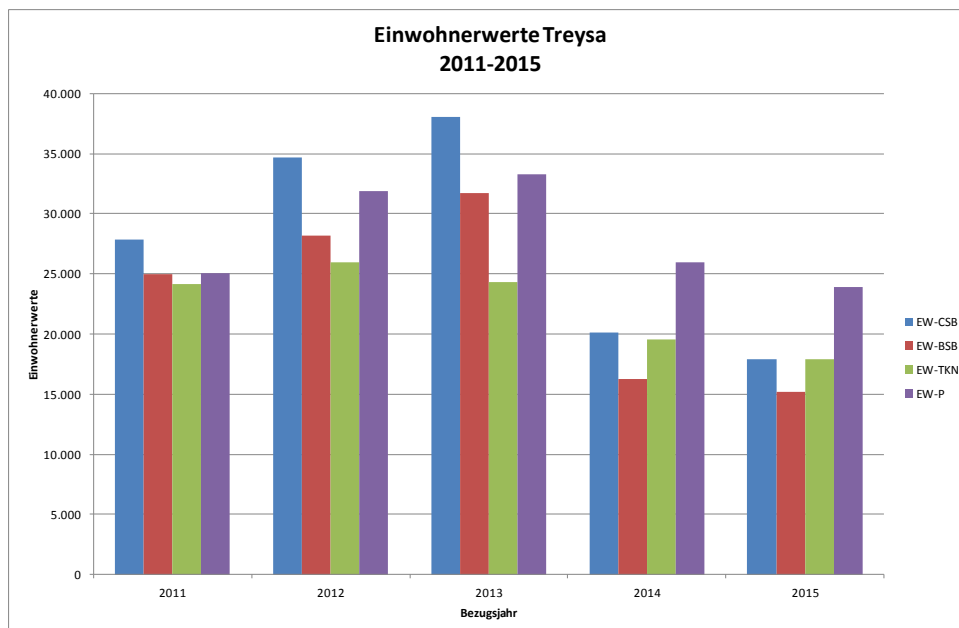


Abbildung 7: Zulaufbelastung in EW_{CSB} 2011-2015

Die Abtrennung der Konzentrate des größeren Indirekteinleiters ist betriebsbedingt noch nicht umgesetzt. Die Umsetzung erfolgt voraussichtlich in 2017, so dass die CSB-Fracht anschließend weiter um rund 300 kg CSB/d bzw. > 10% reduziert wird.

Zulaufbelastung aus dem Einzugsgebiet der Kläranlage Treysa

Zur Einschätzung der Zulaufmengen wurde untersucht, aus welchem Bereich des Einzugsgebietes die derzeitigen Zulaufmengen stammen.

Hierzu wurden sowohl im Zulauf zur Kläranlage Treysa als auch parallel an 4 signifikanten Stellen im Einzugsgebiet über einen Zeitraum von 6 Tagen 24 h Mischproben entnommen und analysiert. Pro Messstelle wurde für einen weiteren Tag ein Tagesgang für die Konzentrationen von CSB und N_{ges} erstellt. Weiterhin wurde zur Ermittlung der Frachten an 4 Stellen im Einzugsgebiet der Kläranlage die Durchflussmenge während der Probenahme gemessen. Für die Frachtermittlung an der Kläranlage wurde die Mengenmessung der Kläranlage verwendet.

Die Durchflussmengenmessung, Probenahmen und Wartung der Geräte wurde im Zeitraum vom 5. Oktober bis zum 13. Oktober durch das Ingenieurbüro Ballweg durchgeführt. Die Analysen erfolgten im Labor der GKA Treysa.

Die Messpunkte an 4 Stellen im Einzugsgebiet (M1 bis M4) und im Zulauf zur Kläranlage wurden so festgelegt, dass zum einen die größeren Einzugsgebiete und zum anderen die vermuteten Großeinleiter (Sägewerk (M4) und Schlachtereier (M2)) erfasst wurden. Der Ablauf aus dem Diakoniezentrum wurde lediglich über die Zulaufproben der Kläranlage erfasst.

Die Abwasserproben wurden auf CSB, N_{ges} und NH_4-N analysiert. Zur einfacheren Vergleichbarkeit wurden die Tagesfrachten in Einwohnerwerte (CSB: $120 \text{ g}/(E \cdot d)$; N: $11 \text{ g}/(E \cdot d)$) umgerechnet. Diese sind in den folgenden Abbildungen graphisch getrennt für CSB und N_{ges} dargestellt.

Den 4 signifikanten Stellen wurden die ansässigen Bewohner anhand der Aufstellung in der aktuellen Schutzfrachtsimulation und der aktuellen Einwohnerzahl zugeordnet, um den industriellen bzw. gewerblichen Einfluss auf die Schmutzfrachten ermitteln zu können. Die Einwohner sind in den Abbildungen als Vergleichswert enthalten. Die Frachten, die die Belastung der restlichen Einwohner darstellen („sonstige Einleiter (rechnerisch)“), sind aus der Subtraktion der Frachten aus den einzelnen Messstellen von der Gesamtfracht (Zulauf Kläranlage) errechnet. In diesem Wert sind die Frachten des Diakoniezentrums enthalten.

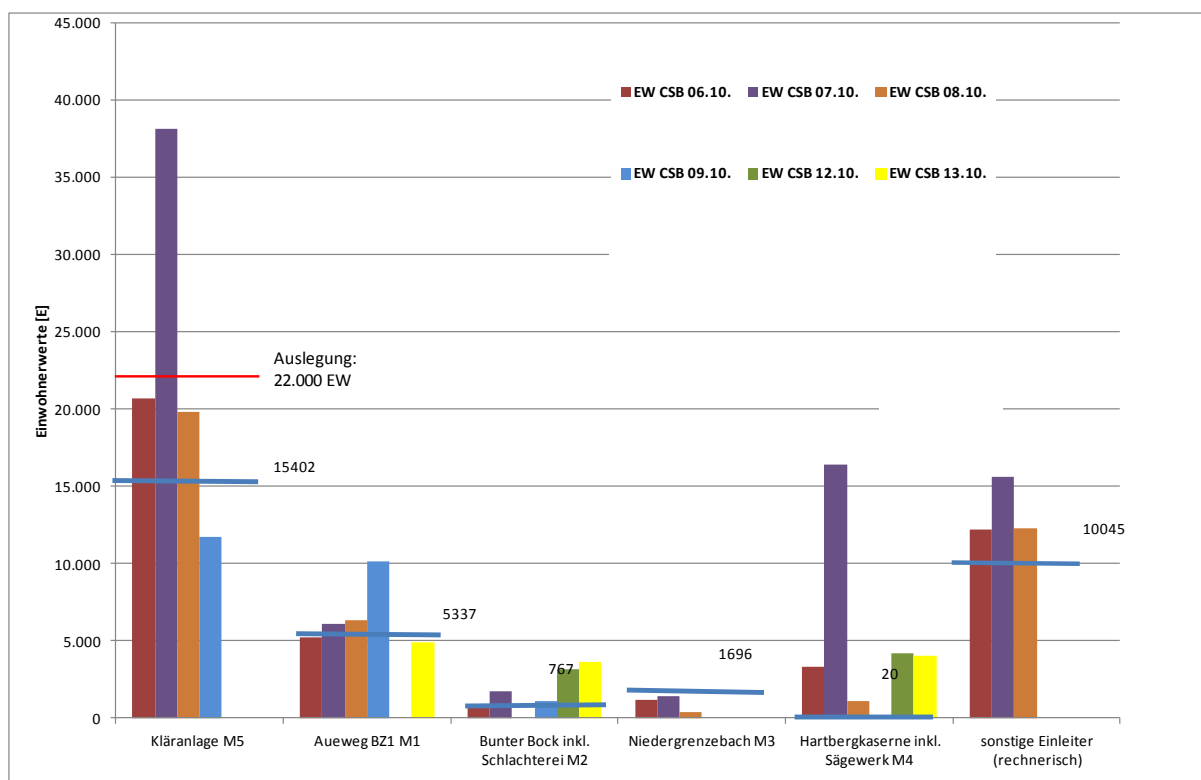


Abbildung 8: Einwohnerwerte aus CSB-Tagesfrachten im Zeitraum 06.10.-13.10.2015

Anhand der Auswertung ist zu sehen, dass die Einwohnerwerte gemäß CSB-Zulauffrachten zur Kläranlage Treysa vom 06.10.-08.10.2015 deutlich über den angeschlossenen Einwohnern liegen und auch große Schwankungen aufweisen (11.700 E_{CSB} bis 38.000 E_{CSB}), prägnant ist vor allem die Zulauffrachtspitze am 07.10.2015 mit rund 38.000 E. Die Kläranlage ist auf 22.000 E ausgelegt, so dass während der Messkampagne der Anlage eine Zulauffracht zufluss, die weit über der Ausbaugröße der Kläranlage liegt.

Diese Zulaufspitze kommt durch den industriellen Zulauf des Sägewerkes, deren Fracht an diesem Tag einem Einwohnergleichwert von 16.500 E entspricht.

Durch eine Aufkonzentration und Abtrennung der hochbelasteten Dämpfkondensate und Mitbehandlung im Faulturm der Kläranlage Treysa, kann die Belegung der Kläranlage erheblich entlastet werden.

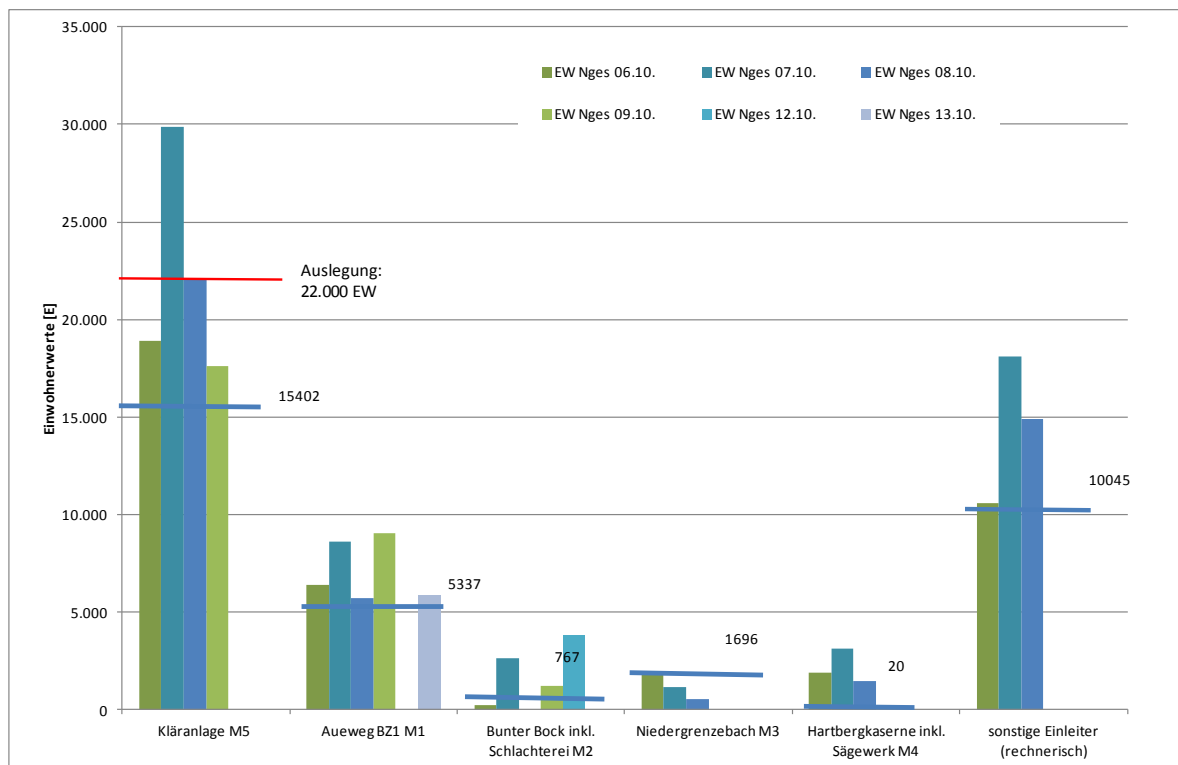


Abbildung 9: Einwohnerwerte aus N_{ges} -Frachten im Zeitraum 06.10.-13.10.2015

Auch die Stickstofffrachten im Zulauf zur Kläranlage schwanken erheblich zwischen 17.600 E_N und 29.800 E_N , und liegen jeweils über den angeschlossenen Einwohnern. Auch bei Betrachtung der Stickstofffracht wird der Auslegungswert von 22.000 EW ebenfalls am 07.10.2015 überschritten.

Auch wenn aus der Auswertung der Analysen und Durchflussmessungen am Messpunkt M2 ersichtlich wird, dass durch die Schlachtereie eine hohe Stickstofffracht (bis zu 3.800 E) mit großen täglichen Schwankungen aufgrund der Produktion zur Kläranlage Treysa gelangt, kann die Zulaufspitze von 29.800 E nicht auf die Schlachtereie bezogen werden. Auch stammen diese hohen Stickstofffrachten nicht von den Abwässern aus der Holzverarbeitung oder der internen Rückbelastung. Die genaue Ursache für die hohen Stickstofffrachten konnte nicht geklärt werden.

Gaserzeugung

Der Klärgasanfall schwankte während der Projektlaufzeit ebenfalls erheblich (siehe Abbildung 10) und lag in 2011 mit insgesamt 274.138 m³ auf einem sehr hohen Niveau. In den Jahren 2012-2014 sank der Klärgasanfall kontinuierlich und lag 2014 bei lediglich rund 210.000 m³. Der Klärgasanfall erreichte im Zeitraum Oktober 2015-September 2016 mit 273.000 m³ jedoch wieder das hohe Niveau von 2011, trotz wesentlich geringerer Zulaufkraft. Die organische Zulaufbelastung zur Kläranlage in 2011 lag rund 30% über der organischen Belastung in 2015/2016. Die Ursache für die starken Veränderungen konnten nicht geklärt werden, zumal die Betriebsweise des Faulturmes im betrachteten Zeitraum nicht geändert wurde und die Belastung der Kläranlage sogar gegenläufig war. Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 10 die auf die Zulaufbelastung bezogene Faulgasproduktion dargestellt.

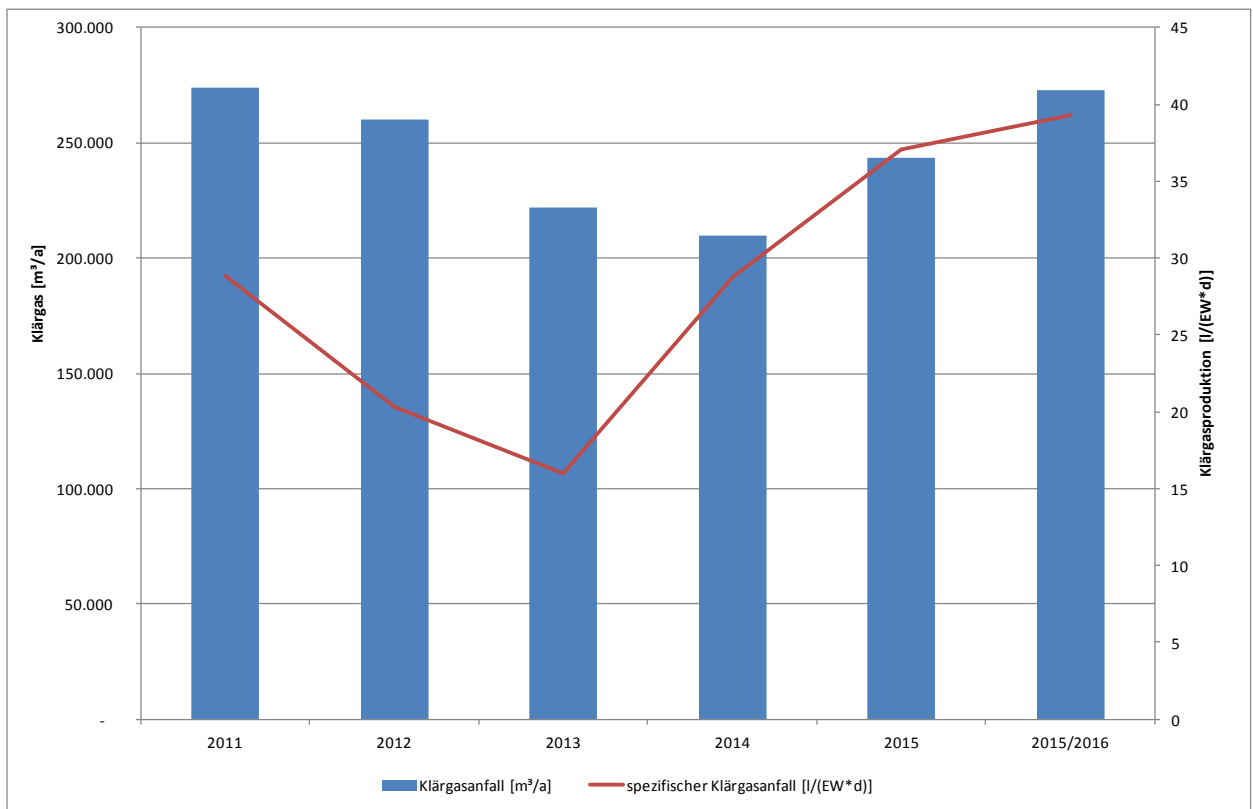


Abbildung 10: Klärgasanfall 2011-2016

Die spezifische Gasproduktion liegt zwischen 16 l/(EW*d) in 2013 und 39 l/(EW*d) im Zeitraum der Messkampagne.

Durch die Abtrennung der Konzentrate und Mitbehandlung im Faulturm wird eine weitere Steigerung des einwohnerspezifischen Gasanfalls erwartet.

Der Faulturm der Kläranlage Schwalmstadt Treysa ist im Zeitraum Oktober 2015 bis September 2016 täglich mit rund 20 m³ eingedicktem Überschussschlamm, 23 m³ Primärschlamm und rund 10 m³ an Co-Substraten beschickt worden.

Die Feststofffrachten liegen für den Überschussschlamm bei rund 1.280 kg TS/d bzw. 909 kg oTS/d und für den Primärschlamm bei rund 805 kg TS/d bzw. 604 kg oTS/d.

Der Gasanfall aus dem Rohschlamm kann mit 450 l/kg oTS abgeschätzt werden. Demnach liegt die Gasmenge aus dem Rohschlamm der Kläranlage bei rund 680 m³/d.

Da der Gasanfall bei insgesamt 748 m³/d lag, errechnet sich der Gasanfall aus dem Co-Substrat zu rund 67 m³/d bzw. bei einer Zugabe von 10 m³ zu knapp 7 m³/m³ Co-Substrat.

Gasmenge Schlamm-silo

Die schwimmende Gashaube wurde auf der Wasseroberfläche des Schlamm-silos 1 aufgesetzt und sammelt das austretende Gas auf einer Fläche von 2,25 m². Die Gasmenge wird über einen Trommelgaszähler erfasst, die Gasmenge wird regelmäßig, jedoch nicht täglich dokumentiert.



Abbildung 11: Foto Gashaube

In folgender Abbildung ist die Gasmenge in m³ hochgerechnet auf die gesamte Silofläche der beiden Silos und die Gasbildungsrate in m³/d dargestellt. Da die Gas-mengen nicht täglich dokumentiert werden, stellt die Gasbildungsrate Mittelwerte für die einzelnen Zeitabschnitte dar, an denen die Gasmenge dokumentiert wurde.

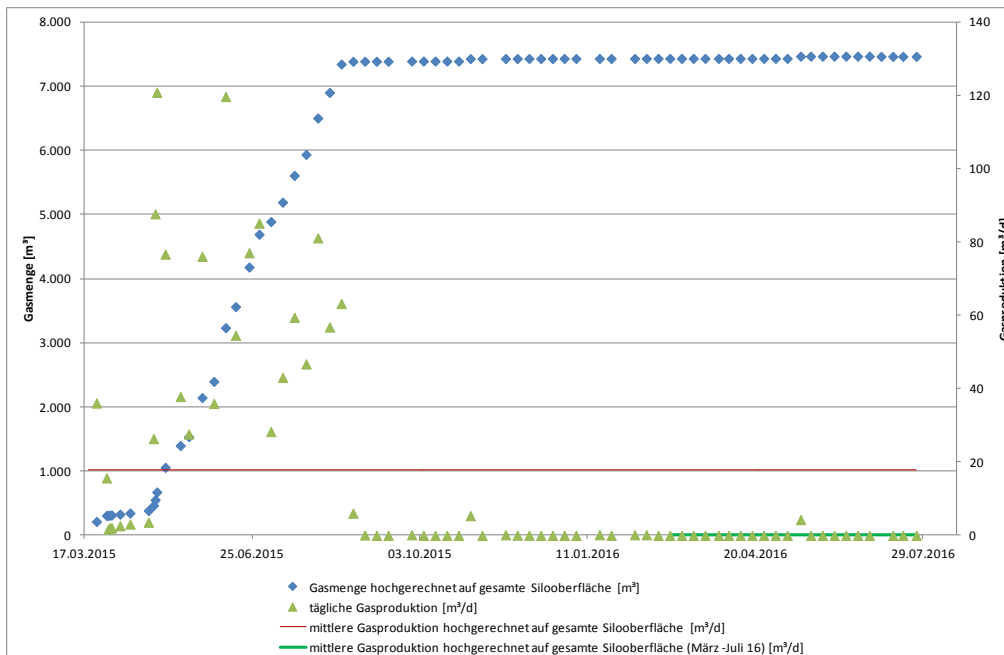


Abbildung 12: Gaserfassung aus dem Schlamm-silo

Im Zeitraum von März 2015 bis Juli 2015 ist das Ausgasen aus dem Schlamm-silo deutlich zu erkennen.

Seit Installation der Gasuhr am 18.03.2015 sind bis zum 13.09.2015 über die Gashaube insgesamt 42,8 m³ Gas erfasst worden. Wird diese Gasmenge auf die Oberfläche beider Silos von rund 389 m² bezogen, hat sich in den beiden Silos rund 7.400 m³ Gas gebildet, was einem mittleren täglichen Gasanfall von 41 m³ (rund 5,5 % des Gasanfalls aus dem Faulturm) entspricht. Rechnerisch lag die tägliche Gasproduktion im Zeitraum bis 13.09.2015 zwischen 0 und 119 m³/d. Die täglichen Unterschiede sind auf die Bewirtschaftung des Schlamm-silos (Füllen und Abfahren des Schlammes und Betrieb des Rührwerkes) zurückzuführen.

Seit September 2015 wurde keine weitere Gasproduktion erfasst. Anfangs wurde dies auf die Bewirtschaftung des Schlammes zurückgeführt. Zur Verdeutlichung der Bewirtschaftung des Schlamm-silos 1 ist in Abbildung 13 der Befüllungsgrad im Zeitraum vom 01.03.2016 bis 31.07.2016 dargestellt. Im Zeitraum vom 24.08-13.09.2015 wurde beispielsweise der Klärschlamm einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt, so dass in diesem Zeitraum kein Gas im Silo entstanden ist. Anschließend wurde angenommen, dass aufgrund der kalten Witterungsbedingungen im Winter und des kalten Faulschlammes im Silo kein Gas entweicht.

Eine Überprüfung der Gasmengenerfassung im August 2016 hat ergeben, dass die Mengenerfassung funktioniert. Durch das sichtbare Aufsteigen von Gasbläschen an der offenen Silooberfläche ist belegt, dass weiterhin im Silo Gas entsteht. Warum jedoch kein Gas erfasst wird, muss noch untersucht werden. Da die Gashaube leicht erhöht und schräg auf dem Wasserspiegel liegt, ist anzunehmen, dass sich in der Gasleitung ein Verschluss gebildet oder sich in der Haube eine feste Schlamm-schicht gebildet hat und das Gas somit

nicht zur Gasuhr abgeleitet werden kann, sondern in der Haube so lange gespeichert wird, bis der Überdruck diese soweit angehoben hat, dass es unter der Haube entweicht.

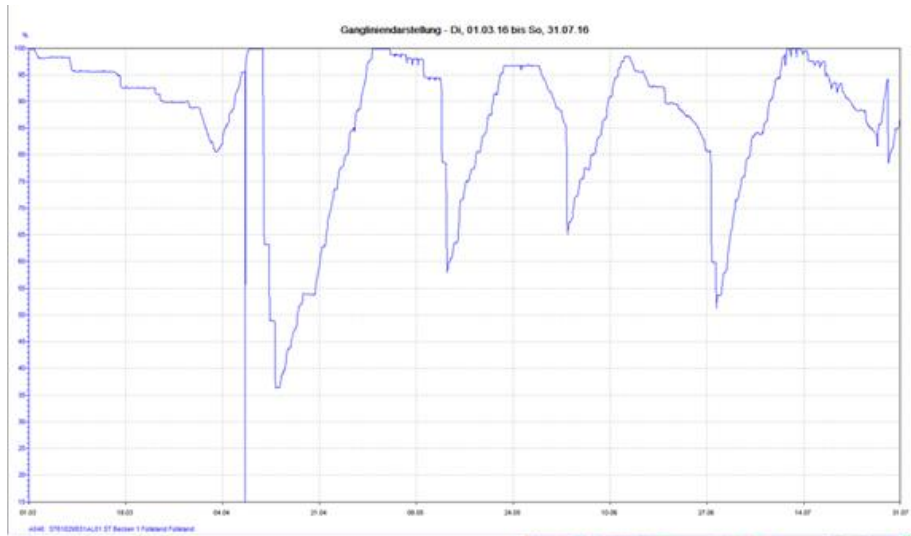


Abbildung 13: Füllstand Schlammsilo

Gasanalysen:

Sowohl das Gas aus dem Faulturm als auch das Gas aus dem Silo wurde im Rahmen der Messkampagne 3 mal untersucht, die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 3: Ergebnisse Gasanalysen

	Einheit	Silo				Faulturm			
		A1	A1	A3	Ø	A1	A1	A3	Ø
Methan	Vol.-%	75,2	74	78,7	76	62,4	61,5	61,8	61,9
Kohlendioxid	Vol.-%	11,9	18,6	13,8	14,8	34,8	35,7	35,3	35,3
Sauerstoff	Vol.-%		1,2	0,6	0,9		0,6	0,7	0,65
Sickstoff	Vol.-%		6,1	6,8	6,5		2,3	2,3	2,25
Summe		87,1	99,9	99,9		97,2	100	100,1	

Der Methangehalt des Gases aus dem Silo liegt mit 76% wesentlich höher als der Methangehalt des Gases aus dem Faulturm. Das im Faulturm entstehende Gas liegt mit einem mittleren Methangehalt von 61,9 % innerhalb des in der Literatur angegebenen Methangehaltes für Klärgas.

Gasverwertung im BHKW-Treysa:

Im Zeitraum vom 01.10.2015 – 30.09.2016 hat das BHKW auf der Kläranlage Treysa durch die Verwertung von 224.599 m³ Gas rund 399.922 kWh Strom erzeugt. Der elektrische Wirkungsgrad (Nettostromerzeugung) errechnet sich im Mittel zu 28,7¹ %. Das BHKW wurde fast durchgängig auf Volllast betrieben.

Im Zeitraum 01.10.2015 – 30.09.16 wurden 644.148 kWh_{th} an Wärme genutzt. Der thermische Wirkungsgrad des BHKWs liegt bei rund 50%, mit einem Gasverbrauch von 224.599 m³ wurden somit 696.000 kWh an Wärme erzeugt, so dass rund 52.000 kWh über den Notkühler abgeführt wurde.

Gasverwertung im Satelliten-BHKW:

Im Zeitraum von 01.10.2015 – 30.09.2016 wurden rund 45.000 m³ Gas im BHKW des Diakonie zentrums verwertet und rund 75 MWh Strom und rund 140 MWh Wärme erzeugt. Neben Klärgas wird das Satelliten-BHKW hauptsächlich mit Erdgas betrieben, um hohe Betriebszeiten des BHKWs zu erreichen.

Die komplette Stromproduktion des Satelliten-BHKWs lag im Zeitraum 01.10.2015 bis 30.09.2016 bei 424,3 MWh. An Wärme wurden in diesem Zeitraum insgesamt (Klärgas und Erdgasbetrieb) 828 MWh_{th} produziert.

Durch die Mitnutzung des Satelliten-BHKWs konnte die Stromproduktion aus Klärgas um rund 18 % erhöht werden.

Die Wärmenutzung aus Klärgas konnte um rund 20 % erhöht werden.

Trübwasserbehandlung/Deammonifikation

Durch die Trübwasserbehandlung wurde die Rückbelastung zur Kläranlage erheblich reduziert. Aufgrund der Streuung der Zu- und Ablaufkonzentration der Kläranlage Treysa kann die Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlage jedoch nicht quantifiziert werden.

Die Stickstoffkonzentrationen im Scheibentauchkörper (aus den Packungen 1.1 und 2.5) wurden sehr häufig analysiert. Auf eine ebenso häufige Bestimmung der Stickstoffkonzentration im Trübwasser aus der Vorlage (Nacheindicker) wurde verzichtet, weil sich die Konzentrationen dort kaum ändern. Die Analysen aus der Packung 1.1 können ersatzweise als Zulaufkonzentration verwendet werden. Wahrscheinlich liegt die Zulaufkonzentration etwas höher, da durch die Aufenthaltszeit in der Packung 1 bereits ein Abbau stattfindet.

¹ Bei 6,2 kWh/m³

In folgender Abbildung sind die Konzentrationsverläufe für N_{ges} seit der **Umstellung auf den Reihetrieb am 06.07.2015 im Zulauf zu den Scheibentauchkörper (STK 1.1²)** und im Ablauf (**STK 2.5**) dargestellt (eine tabellarische Zusammenstellung der Werte ist im Anhang enthalten).

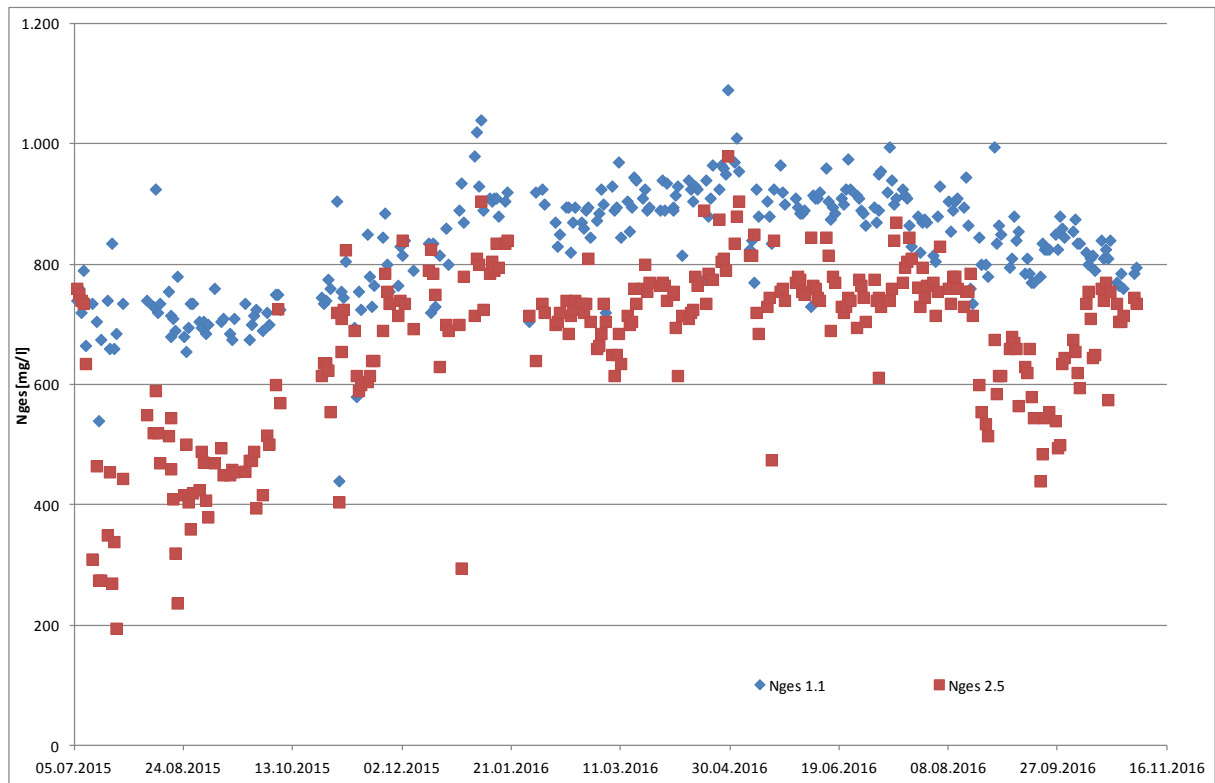


Abbildung 14: N_{ges} im Scheibentauchkörper (Juli 2015 – Oktober 2016)

Deutlich zu sehen ist, dass für das Sommerhalbjahr 2015 eine erhebliche Elimination des Stickstoffs in den beiden Scheibentauchkörper nachgewiesen werden kann. Die Eliminationsleistung nimmt mit Beginn der kalten Jahreszeit ab. Obwohl im Frühjahr 2016 die Eliminationsleistung der Scheibentauchkörper im Vergleich zum Winter zunächst wieder angestiegen ist, kam es zu einem Einbruch in der Stickstoffelimination, die erst im Sommer 2016 bemerkt und auf eine Versäuerung des Scheibentauchkörpers zurückgeführt wurde, so dass die Reinigungsleistung erst ab August 2016 nach Zugabe von Kalk wieder auf erwartete Werte anstieg.

Aufgrund der langen Aufenthaltszeit von rund 3 Tagen, der Pfropfenströmung³ im Scheibentauchkörper und der großen Bandbreite der N_{ges} -Zulaufkonzentrationen (STK 1.1), müssen zur Ermittlung der täglichen Eliminationsraten die Analysen um die Aufenthaltszeit von rund 3 Tagen verschoben werden.

² Vereinfachend wird die Analyse des Trübwassers aus der Kammer 1.1 als Zulaufprobe herangezogen, obwohl bereits in dieser Kammer eine biologische Reaktion stattfindet. Das Trübwasser aus der Kammer 1.1 wurde sehr regelmäßig beprobt, während die Vorlage im Nacheindicker wesentlich weniger häufig beprobt wurde

³ Bei einer Pfropfenströmung nimmt die Konzentration in Richtung Fließweg kontinuierlich ab

In folgender Abbildung sind die täglichen N_{ges} -Eliminationsleistungen dargestellt, wobei die Eliminationsleistung mit einer um 3 Tage verschobenen Ablaufkonzentrationen errechnet wurde. Das Datum entspricht der Analyse des Zulaufs. Eine tabellarische Zusammenstellung der Zulaufkonzentrationen und der um drei Tage verschobenen Ablaufkonzentration ist im Anhang enthalten.

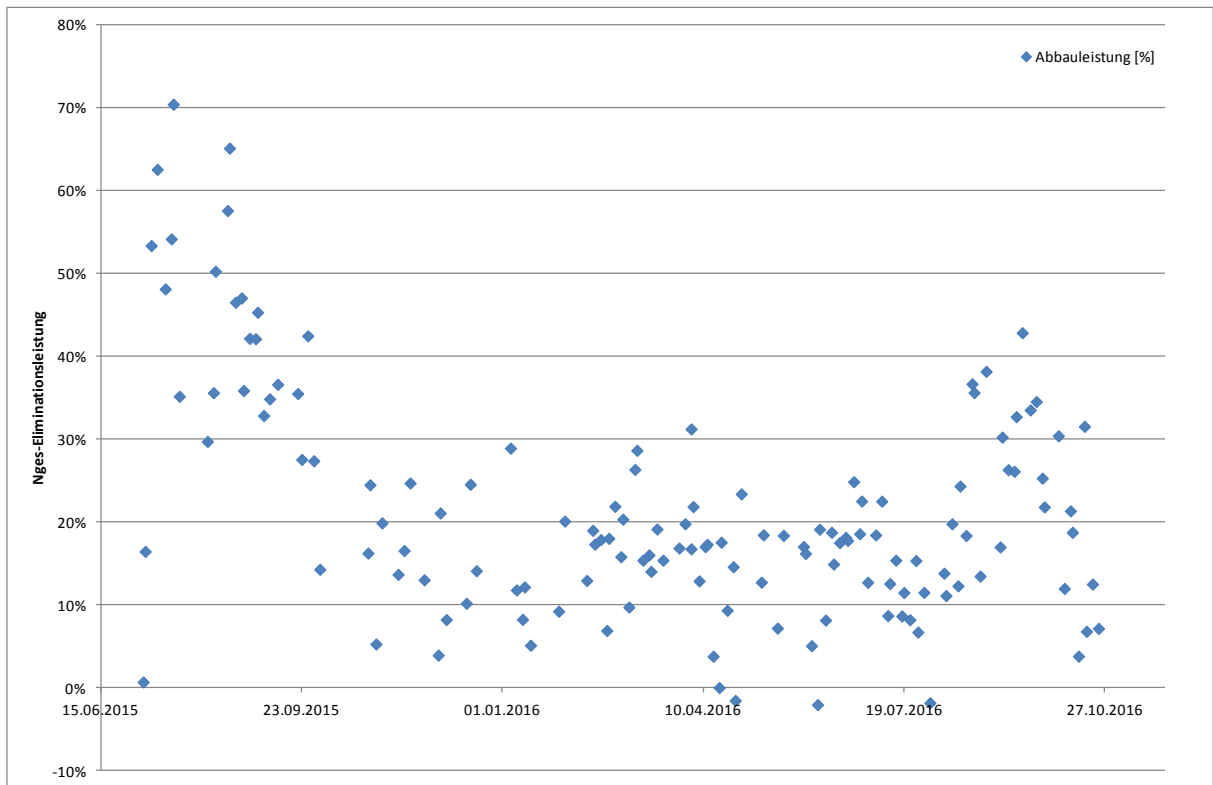


Abbildung 15: N_{ges} Abbauleistung im Scheibentauchkörper

In folgender Tabelle sind die **Monatsmittelwerte** für N_{ges} für den Zeitraum Juli 2015 bis Oktober 2016 dargestellt. In 2015 liegt die Eliminationsleistung bis einschließlich Oktober 2015 für N_{ges} im Mittel bei 36%.

Im Winterhalbjahr 2015/2016 (November 2015-April 16) sank die N_{ges} -Eliminationsleistung erwartungsgemäß, erreichte jedoch rund 17%. Im Sommer (Zeitraum Mai bis September 2016) stieg die mittlere Eliminationsleistung leicht auf 18% an, reicht jedoch nicht an die Leistung von Sommer 2015 heran. Ursache hierfür ist eine Versäuerung des Scheibentauchkörpers. Da dies nicht frühzeitig festgestellt wurde, erfolgte eine Zugabe von Kalk zur Stabilisierung des pH-Wertes erst ab August 2016.

Tabelle 4: Monatsmittelwerte N_{ges} im Zu- und Ablauf der Scheibentauchkörper

Monat	Nges 1.1. Monatsmittel [mg/l]	Nges2.5 Monatsmittel [mg/l]	Eliminationsleistung
Jul 15	710	467	34%
Aug 15	729	451	38%
Sep 15	704	452	36%
Okt 15	740	598	19%
Nov 15	753	670	11%
Dez 15	821	707	14%
Jan 16	821	707	14%
Feb 16	877	717	18%
Mrz 16	897	715	20%
Apr 16	922	770	16%
Mai 16	901	771	14%
Jun 16	900	758	16%
Jul 16	898	766	15%
Aug 16	859	711	17%
Sep 16	824	586	29%
Okt 16	813	694	15%

Tabelle 5: Mittelwerte N_{ges} im Zu- und Ablauf der Scheibentauchkörper

	Zeitraum	Nges 1.1. Mittel [mg/l]	Nges2.5 Mittel [mg/l]	Eliminationsleistung
Zeitraum 1	Juli 15-Okt. 15	718,97	480,59	33,2%
Zeitraum 2	Nov. 15 - April 16	865,55	717,11	17,2%
Zeitraum 3	Mai 16-Okt. 16	865,96	712,60	17,7%
Zeitraum 4	August 16-Oktober 16	832,58	659,83	20,7%
Zeitraum 5	Nur Sommer $T > 12^\circ\text{C}$ (Juli 15- Okt.15 und Mai 16-Okt. 16)	818,06	636,57	22,2%
Zeitraum 6	Nur Sommer $T > 12^\circ\text{C}$ (Juli 15- Okt.15 und Aug 16-Okt. 16)	776,74	570,97	26,5%
Zeitraum 7	2015	742,53	555,40	25,2%
Zeitraum 8	2016	879,83	725,39	17,6%
Zeitraum 9	Juli 15-2.11.16	835,36	671,02	19,7%

Bei der Beurteilung der Eliminationsleistung muss zudem berücksichtigt werden, dass die „Zulaufproben“ in der ersten Kammer des STKs entnommen werden und in dieser bereits ein Abbau stattfindet.

Auch wenn die Stickstoffelimination im Winterhalbjahr lediglich bei 17% liegt, so findet trotzdem eine Ammoniumoxidation (Nitrit bzw. Nitratbildung) in den Scheibentauchkörpern statt, die mittlere Ammoniumreduktion liegt bei rund 53% (min: 43%; max: 72%).

Das Nitrat bzw. Nitrit kann unabhängig von der Rezirkulation in der ersten Denitrifikationszone der Belebung der Kläranlage Treysa eliminiert werden und trägt somit ebenfalls zu einer Verbesserung der Stickstoffelimination im Hauptstrom bei.

In folgenden Abbildungen sind die N_{ges} -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Schwalmstadt Treysa für die Jahre 2013-2016⁴ dargestellt.

Als Datengrundlage wurden die Analysen der 24-h-Mischproben verwendet und in Abbildung 16 dargestellt.

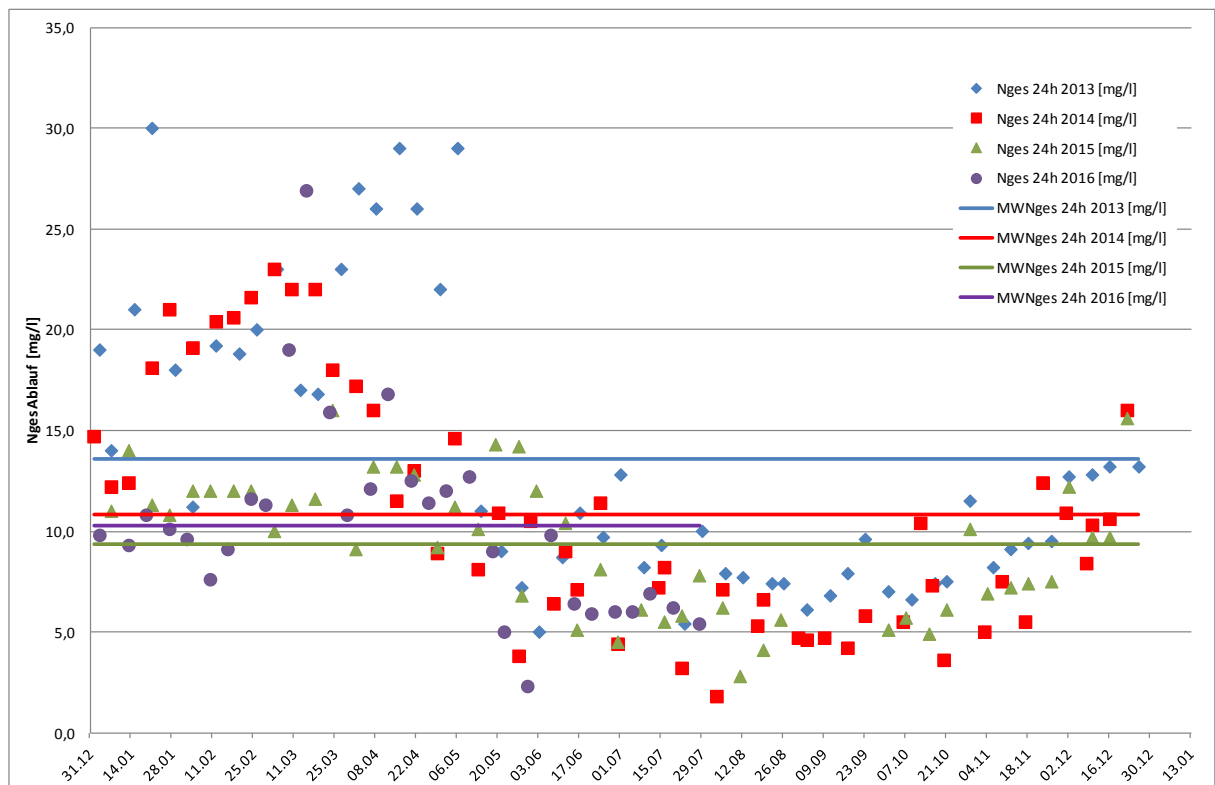


Abbildung 16: N_{ges} im Ablauf der Kläranlage Treysa (24-h-Werte)

Die N_{ges} -Ablaufkonzentrationen liegen in 2015 und 2016 unter denen von 2013 und 2014, so dass die positive Auswirkung der Trübwasserbehandlung auf die Reinigungsleistung der Kläranlage erkennbar ist.

⁴ In 2016: Daten bis August

Energiebilanz

Im Rahmen des Messprogrammes wurden sowohl der Energieverbrauch der Kläranlage Treysa als auch die Eigenversorgung ermittelt. Zudem wurden die wichtigsten Ergebnisse aus der im Jahr 2012 erstellte Energieanalyse (mit dem Basisjahr 2011, siehe Anhang) aktualisiert.

Stromverbrauch

In folgender Abbildung ist der Stromverbrauch aufgeteilt in Strombezug und Eigenerzeugung der Kläranlage Schwalmstadt-Treysa für die Jahre 2011 bis 2015 und für den Zeitraum der Messkampagne dargestellt.

Nach einem leichten Rückgang des Stromverbrauches in 2012 und 2013 ist er ab 2014 wieder etwas angestiegen, wobei der Unterschied zwischen minimalem und maximalem Jahresstromverbrauch lediglich bei 11 % liegt.

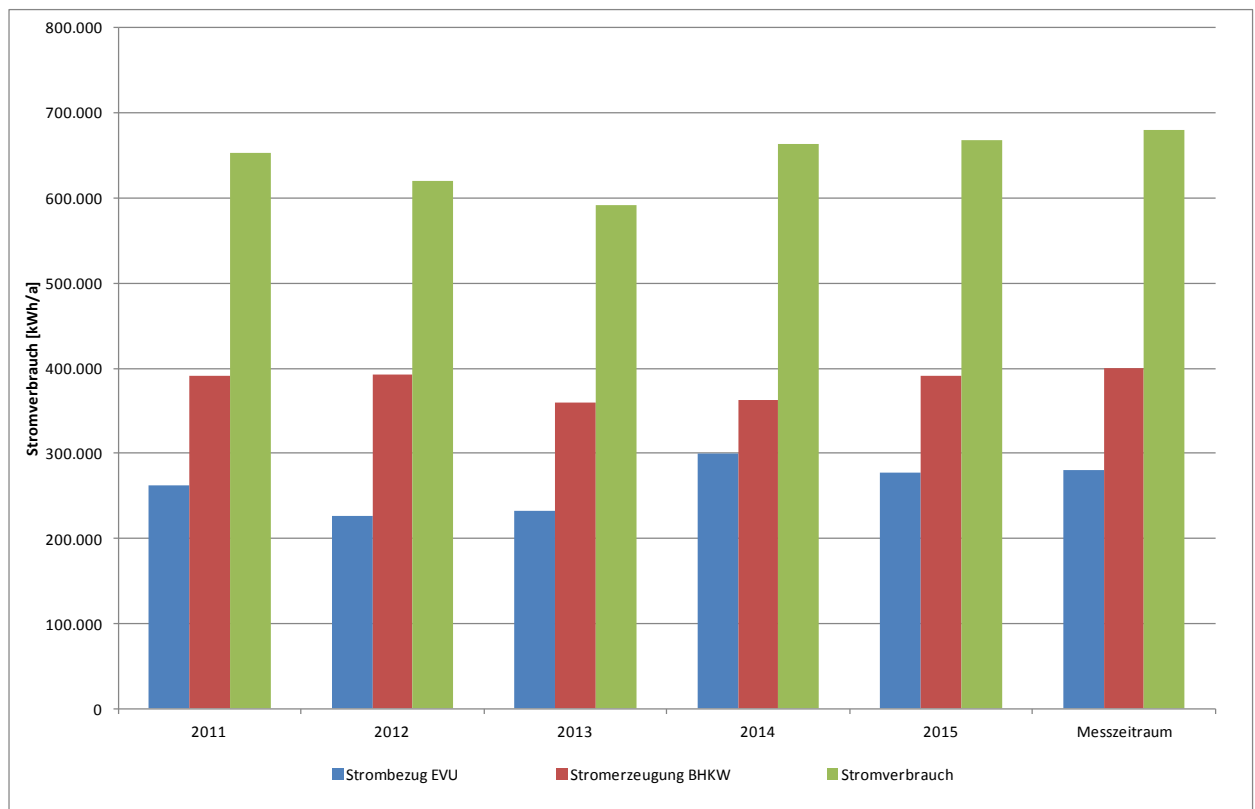


Abbildung 17: Stromverbrauch, Strombezug und Eigenerzeugung

Der Stromverbrauch im Zeitraum der Messkampagne lag bei insgesamt 679.516 kWh, vor Umsetzung der Maßnahmen in 2011 lag der Stromverbrauch mit 653.408 kWh in der gleichen Größenordnung (Differenz von 4%).

Der Eigenversorgungsanteil ist unter Berücksichtigung des aus Klärgas erzeugten Stromes im Satelliten-BHKW von 60% in 2011 auf rund 70% in 2015/2016 angestiegen.

In folgender Tabelle sind die Kennwerte aus dem Energiecheck für die Jahre 2011 bis zum Zeitraum des Messprogrammes zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 6: Kennwerte aus dem Energiecheck

			2011	2012	2013	2014	2015	2015/2016
E_{ges}	Stromverbrauch gesamt	kWh/a	653.408	620.267	591.499	662.980	668.141	679.516
EW_{ges}	Einwohnerwerte	E	26.000	35.000	38.000	20.000	18.000	19.000
E_B	Stromverbrauch Belüftung	kWh/a	299.728					284.152
Q_{FG}	Jahresmittelwert der Faulgasproduktion	m ³ N/d	751	712		575	667	747
	Davon Verbrauch BHKW GKA Treysa	m ³ N/d	628	665		563	591	615
	oTR-Fracht zum Faulturm (nur Klärschlamm)	t/a	665					552
E_{KWK}	Jahresproduktion Strom BHKW Treysa	MWh/a	391	393		379	391	400
	Jahresproduktion Strom Satelliten-BHKW	MWh/a						75
E_{therm}	extern zugeführte Wärme	MWh/a	10					0
			2011	2012	2013	2014	2015	2015/2016
e_{ges}	gesamter Elektrizitätsverbrauch	kWh/(EW*a)	25,1	17,7	15,6	33,1	37,1	35,8
e_{Bel}	spezifischer Elektrizitätsverbrauch Belüftung	kWh/(EW*a)	11,5					15,0
	Grad der gesamten Faulgasnutzung	%	84					100
N_{FG}	Grad der Umwandlung von Faulgas in Elektrizität	%	27,50	26,12		29,77	29,25	29,04
e_{FG}	spezifische Faulgasproduktion pro EW_{CSB}	l/(EW*d)	28,9	20	-	29	37	39
E_{vel}	Eigenversorgungsgrad-Elektrizität	%	60	63	-	57	59	70
EV_{th}	Eigenversorgungsgrad-Wärme	%	99					100

Aufteilung des Stromverbrauchs auf die Aggregate

In folgender Tabelle sind die Stromverbräuche anhand der aufgestellten Aggregatliste (siehe auch Aggregatliste im Anhang) für die beiden Zeiträume (2011 und Okt. 2015-Sept. 2016) zusammengefasst.

In beiden Zeiträumen liegt der Gesamtstromverbrauch nach der Aggregatliste rund 4% unterhalb des Stromverbrauches nach Stromrechnungen und Erfassung der Eigenproduktion, so dass die Werte gut miteinander verglichen werden können. Bei den einwohnerspezifischen Werten ist jedoch hervorzuheben, dass die Belastung in 2015/2016 lediglich rund 79% der Belastung von 2011 entspricht (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Stromverbrauch der Verfahrensgruppen auf der Kläranlage Treysa in 2011 und 2015/2016

Verfahrensschritt	Stromverbrauch 2011	Stromverbrauch 2015/2016	spez. Strom- verbrauch 2011	spez. Strom- verbrauch 2015/2016	Verhältnis Stromverbrauch nachher/vorher
-	kWh/a	kWh/a	kWh/(EW*a)	kWh/(EW*a)	[%]
Zulaufpumpwerk/Trockenwetterschnecke	68.083	87.670	2,58	4,71	129%
Regenwetterschnecke 1	18.389	9.146	0,70	0,49	50%
Regenwetterschnecke 2	3.972	1.210	0,15	0,07	30%
Rechen, inkl. Rechenwaschgutpresse	3.826	4.212	0,14	0,23	110%
Sandfang, ohne Belüftung	621	751	0,02	0,04	121%
Sandfang, Belüftung	14.484	14.777	0,55	0,79	102%
Vorklärung, einschl. Primärschlammumpwerk	600	625	0,02	0,03	104%
mechanische Reinigung	19.532	20.365	0,74	1,09	104%
Biologie Belüftung/Gebläse	299.728	284.152	11,35	15,28	95%
Biologie Belüftung Belebung 1/Gebläse	128.099	129.047			101%
Biologie Belüftung Belebung 2/Gebläse	171.629	155.105			90%
Biologie Umwälzung	54.570	53.970	2,07	2,90	99%
Biologie Rezirkulation	22.930	27.077	0,87	1,46	118%
Rücklaufschlamm	26.169	26.128	0,99	1,40	100%
Biologische Reinigung insgesamt	403.397	391.327	15,28	21,04	97%
Nachklärung inkl. Überschussschlammabzug	5.472	6.047	0,21	0,33	111%
Fällmittel dosierung	2.681	2.681	0,10	0,14	100%
Abwasserreinigung gesamt	431.081	420.418	16,33	22,60	98%
Schlamm Eindickung	10.244	12.760	0,39	0,69	125%
Schlammstabilisierung	46.936	44.924	1,78	2,42	96%
Trübwasserpumpe	3.240	7.549	0,12	0,41	233%
Schlammbehandlung	60.420	65.233	2,29	3,51	108%
Trübwasserbehandlung Deammonifikation		9.724	-	0,52	
BG Licht, Labor, Werkstatt	15.000	30.000	0,57	1,61	200%
Klärgastrocknung Beschickung BHKW Hephata		6.000	-	0,32	
Brauchwasser	7.665	7.665	0,29	0,41	100%
Heizungen	10.520	4.688	0,40	0,25	45%
Fäkalannahmestation	1.017	1.071	0,04	0,06	105%
Sonstiges	7.071	7.208	0,27	0,39	102%
Kläranlage gesamt	623.219	650.033	23,61	34,95	104%

In Abbildung 18 ist der Stromverbrauch der Gruppenkläranlage Treysa im Jahr 2011 und in 2015/2016 anhand der zusammengestellten Aggregatliste dargestellt.

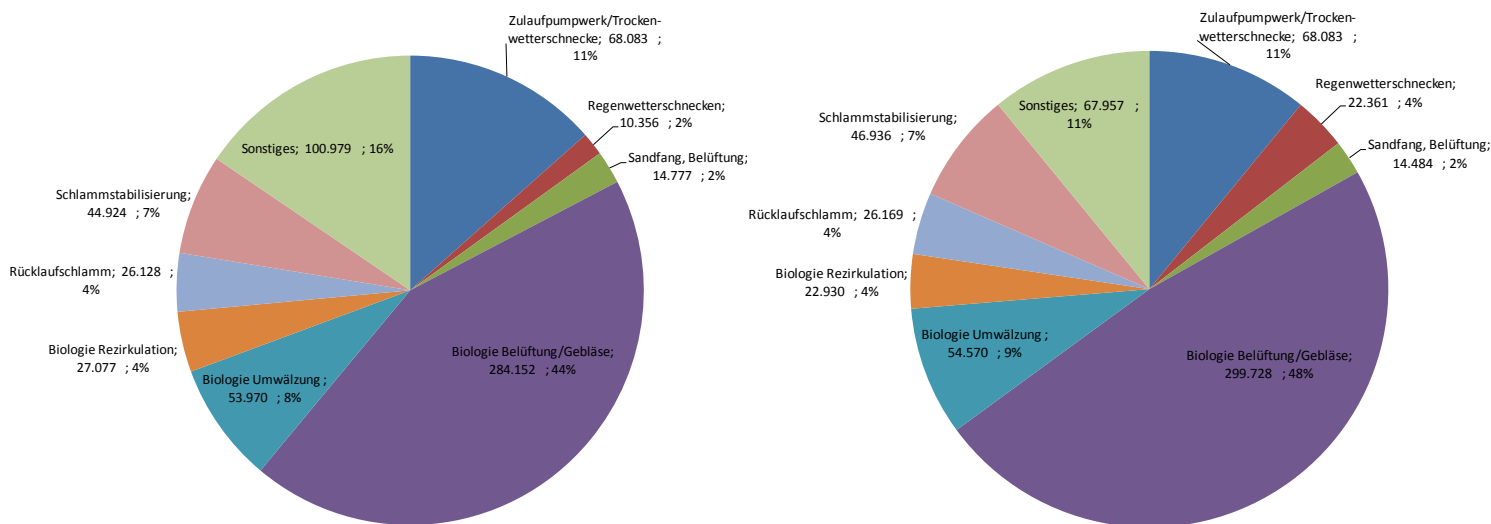


Abbildung 18: Prozentuale Aufteilung des Stromverbrauches auf die Aggregate in 2011 und 2015/2016

In beiden Zeiträumen ist der Hauptverbraucher an Strom die biologische Reinigungsstufe der Kläranlage mit über 60% für Belüftung, Umwälzung und interne Rezirkulation. Sowohl der Anteil der Belüftung am Gesamtverbrauch (48% auf 44%) als auch der absolute Verbrauch der Belüftung ist gesunken (um 5%).

Der Anteil der sonstigen Verbraucher hat sich wesentlich erhöht, was an den zusätzlichen Aggregaten für die Trübwasserbehandlung und die Klärgastrocknung liegt.

Insgesamt weist die Analyse der einzelnen Verbrauchergruppen noch auf Optimierungspotenziale hin (siehe Gegenüberstellung im Anhang), wobei weiterhin Unsicherheiten bei der Bewertung aufgrund der Belastungsschwankungen im Zulauf zur Kläranlage Treysa bestehen.

3.3. Umweltbilanz

Durch die Mitnutzung des Satelliten-BHKWs konnte der CO₂-Ausstoß um rund 147 t/a gesenkt werden.

Diese Verringerung setzt sich aus der Substitution fossiler Brennstoffe durch die Klärgasnutzung im Satelliten-BHKW und die Substitution der Wärmeerzeugung im Heizkessel (Nutzung des Satelliten-BHKWs mit Erdgas) wie folgt zusammen:

- Substitution fossiler Brennstoffe durch Klärgasnutzung:
 - Stromerzeugung: 52 MWh/a mit 0,5 kg CO₂/kWh: 26 t CO₂/a
 - Wärmeerzeugung: 12.400 m³ Erdgas mit 2 kg CO₂/m³: 25 t CO₂
- Substitution der Wärmeerzeugung im Heizkessel und Stromerzeugung in bundesweiter Kraftwerkweise (Nutzung BHKW mit Erdgas):
 - Substitution Stromerzeugung 350 MWh/a: 174 t CO₂/a
 - Substitution Wärmeerzeugung im Heizkessel: 766 MWh/a: 152 t CO₂/a
 - Abzgl. Erdgasverbrauch BHKW 1.150 MWh/a: 230 tCO₂/a
 - Einsparung: 174 t CO₂/a + 152 t CO₂/a - 230 tCO₂/a = 96 t CO₂/a
- Einsparung gesamt: (26 + 25 + 96) t CO₂/a = 147 t CO₂/a

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Inwieweit durch die Umsetzung der Maßnahmen im Rahmen des UIP Projektes Energieeinsparungen erzielt wurden konnte aufgrund der starken Schwankungen der Energiekennwerte im gesamten Projektverlauf nicht quantifiziert werden (siehe auch Tabelle 2). Jedoch konnte der Stromverbrauch insgesamt und der Eigenversorgungsgrad auf der Kläranlage, trotz der Installation neuer Verbraucher (Scheibentauchkörper, Nacheindicker, Klärgastrocknung und Förderung zum Satelliten-BHKW) annähernd gleich gehalten werden, so dass es zusammen mit der zusätzlichen Stromerzeugung des Satelliten-BHKWs zu einer deutlichen Verbesserung der Energieeffizienz kam.

Insgesamt lagen die Investitionen bei rund 1,66 Mio €. Da sich durch den Bau des Nacheindickers und der Scheibentauchkörper keine quantifizierbare Energieeinsparung ergibt, werden für die Investitionen dieser Maßnahmen keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt. Der Bau dieser Anlagen ist jedoch dahingehend sinnvoll, dass die Belebung entlastet wurde und somit eine Erweiterung der Kläranlage Treysa insgesamt vermieden werden konnte. Der ansonsten erforderliche Zubau von Belebungsbecken wäre deutlich teurer gewesen, sowohl in der Investition als auch den Betriebskosten.

Für den Bau und den Betrieb des Satelliten-BHKWS wird die Wirtschaftlichkeitsberechnung anhand einer Kosten-Nutzen-Berechnung durchgeführt.

Für die Ermittlung der Jahreskapitalkosten wurde ein Kapitalzinssatz von 2% angesetzt, eine mögliche Steigerung der Energiekosten bleibt unberücksichtigt. Die Jahreskosten ergeben sich aus der Addition der Jahreskapitalkosten und der Betriebskosten. Die Nutzungsdauer wurde für das BHKW und die Klärgastrocknung mit 15 Jahren und für die Klärgasleitung mit 30 Jahren berücksichtigt. Weiterhin werden für die Ermittlung des Jahresnutzens ein spezifischer Strompreis von 18 ct/kWh zzgl. 5,4 ct/kWh KWK-Zulage (in den ersten 10 Jahren) und ein Wärmepreis von 7 ct/kWh angesetzt. Berücksichtigt wurde die Strom- und Wärmeenerzeugung aus der mittleren Jahresmenge des gelieferten Klärgas im Zeitraum vom 01.11.2014 bis 30.09.2016 (Energieerzeugung: 52 MWh und 96 MWh_{th}) und die Strom- und Wärmeenerzeugung aus dem Betrieb des BHKWs mit Erdgas.

Die Investitionskosten für den Bau der Klärgasleitung, des Satelliten-BHKWs und der Klärgastrocknung lagen insgesamt bei rund 400.000 €, davon rund 240 T€ für die Klärgasleitung. Die Wartung und Reparatur für das BHKW beträgt rund 12 T€/a, die Wartung und Reparatur der Klärgasleitung wird mit 1% vor Investitionskosten (2.400 €/a) beziffert, so dass sich die Jahresbetriebskosten zu 14.400 €/a und die Jahreskapitalkosten zu rund 23 T€ errechnen. Die Jahreskosten für das Erdgas errechnen sich mit einem spezifischen Preis von 5ct/kWh zu rund 68 T€. Die jährlichen Kosten ergeben sich somit zu 105.600 €.

Der Jahresnutzen liegt bei rund 170.000 €/a, so dass das Kosten-Nutzenverhältnis bei 0,62 liegt und sich die Maßnahme dementsprechend sehr rentabel darstellt.

Dass die Strom- und Wärmeenerzeugung aus dem Klärgas und damit auch die maximale CO₂-Einsparung des BHKWs im Vergleich zur Planung nicht voll realisiert werden konnte, liegt an dem geringeren Klärgasüberschuss. Die gelieferte Gasmenge fällt mit rund 31.000 m³/a geringer als erwartet aus, da das Schlammsilo bzw. der Nacheindicker nicht an den Gasspeicher angeschlossen werden konnte und somit das aus dem Schlamm lager entweichende Gas nicht genutzt werden kann. Diese Gasmenge kann mit rund 15.000 m³/a abgeschätzt werden. Zudem liegt die spezifische Gasproduktion aus dem Co-Substrat mit rund 7 m³/m³ Co-Substrat auch wesentlich geringer als erwartet. Vor allem konnte auch die Abtrennung der Konzentrate des Sägewerkes als Co-Substrat noch nicht umgesetzt werden, so dass hier in den nächsten Jahren noch eine deutliche Steigerung zu erwarten ist.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Deammonifikation im Scheibentauchkörper

Die Deammonifikation zur Trüb- bzw. Schlammwasserbehandlung wird seit einigen Jahren auf Kläranlagen eingesetzt, wobei hauptsächlich SBR-Anlagen verwendet werden. Obwohl die Deammonifikation auf dem Scheibentauchkörper der Deponiesickerwasserreinigungsanlage Mechernich bereits in den achtziger Jahren festgestellt wurde und diese Anlage zur Animpfung vom Trägermaterial für Versuchsanlagen verwendet wurde, wird der Scheibentauchkörper als reine Deammonifikationsanlage zur Trübwasserbehandlung derzeit nicht eingesetzt.

Ein Scheibentauchkörper (STK) zeichnet sich durch robuste Verfahrenstechnik aus, die sehr wenig Energie für die Belüftung und Umwälzung benötigt. Aus diesem Grund wurde für die Deammonifikation des Schlammwassers auf der GKA Treysa ein STK eingesetzt. Allerdings konnte trotz intensiver Bemühungen und zahlreicher Versuche mit unterschiedlichen Betriebsweisen (Reihenschaltung und Parallelbetrieb der STK; Zugabe von Impfschlamm, Zugabe von C-Quellen, Neutralisation, Variation der Zulaufmenge etc.) nur ein sehr dünner Bewuchs erzielt werden, der keinen nennenswerten Anteil an Deammonifikanten enthält. Insofern lässt sich nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht sagen, dass Scheibentauchkörper für die Deammonifikation geeigneter sind als SBR.

Abdeckungen von Nassschlammlager

In den Schlammsilos entsteht durch die Nachvergärung des Faulschlammes weiter Klärgas, welches in die Atmosphäre entweicht, da die Schlammlager normalerweise nicht abgedeckt werden. Dieses Entweichen kann grundsätzlich durch eine schwimmende Abdeckung verhindert werden. Die Quantifizierung erlaubt künftig eine bessere Einschätzung des Potenzials für Energiegewinn und Treibhausgasen.

Satelliten-BHKW

Da der Wärmebedarf auf der Kläranlage Treysa bereits durch die Abwärmenutzung eines BHKWs vollständig abgedeckt wird, wird der Klärgasüberschuss an ein externes Satelliten-BHKW geliefert. Technisch gesehen entspricht dieses BHKW einem BHKW, welches auf Kläranlagen eingesetzt wird. Die Weiterleitung des Gases stellt jedoch eine Neuerung dar.

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Begleitung der Baumaßnahmen im laufenden Betrieb einschließlich der Betreuung der Einfahrphase für die neuen Anlagenteile und der analytischen Überwachung führte zu einer Erhöhung der Arbeitsbelastung der Mitarbeiter der Kläranlage. Insbesondere da die Anlage, das Kanalnetz und 30 weitere Außenanlagen lediglich von 5 Personen betreut werden, konnte die zusätzliche Arbeitsbelastung nur teilweise abgedeckt werden und hat zu Lücken in der Datenerfassung geführt. Erschwerend kamen mehrere Personalwechsel und Vakanzen in Schlüsselpositionen auf allen Hierarchien hinzu (Klärmeister, technischer Geschäftsführer der Stadtwerke, Bürgermeister).

Die Abtrennung von Konzentraten im Einzugsgebiet der Kläranlage ist nur langsam umsetzbar, da die Entscheidung nicht von den Stadtwerken getroffen werden kann und hohe Investitionskosten von den Firmen, bei denen die Konzentrate anfallen, getätigt werden müssen. Hier ergeben sich auch schwierige Fragen der Kostenzuordnung bei den Abwassergebühren, Starkverschmutzerzuschläge und ggf. Beiträgen, Aufbereitungs- und Transportkosten sowie Gebühren für die Annahme der Konzentrate. Dabei gelten bei Industriebetrieben deutlich kürzere Amortisationszeiten (< 3 Jahren). Hohe Starkverschmutzerzuschläge und eine mögliche Wiederverwendung des abgetrennten Wassers aus der Aufkonzentration des Abwassers verbessern die Wirtschaftlichkeit deutlich.

Die Dauer der Genehmigungsverfahren führte unter anderem zu Verzögerungen im Projektablauf. Dies betraf insbesondere die Co-Vergärung und die Klärung rechtlicher Fragestellungen (Energierichtlich, steuerrechtlich und kommunalabgaberechtliche Fragen bei Satelliten-BHKW; abfallrechtliche Einstufung von Co-Substraten im Hinblick auf die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung).

Der Ersatz der 20 Jahre alten Keramikbelüfter durch hocheffiziente Streifenbelüfter hatte keine signifikante Stromeinsparung zur Folge. Offensichtlich besitzen ältere Keramikbelüfter aufgrund der Verringerung der Porengröße eine hohe Effizienz. Dies hat sich auch bei einem anderen Projekt gezeigt, wo eine spezifische Sauerstoffausnutzung (SSOTE) von deutlich über 8% /m für 15 Jahre alte Keramikkerzen ermittelt wurde. In Schwalmstadt zeigt sich dies auch in dem sehr günstigen Ausgangswert für den Stromverbrauch für die Belüftung von rund 11 kWh/(EW*a). Solange der Betriebsdruck von Keramikbelüftern im Vergleich zum Gegendruck, der sich aus der Wasserhöhe ergibt, nicht deutlich erhöht und das Blasenbild in Ordnung ist, der Sauerstoffgehalt im belüfteten Becken erreicht wird und der spezifische Stromverbrauch der Belüftung nicht wesentlich erhöht ist, sollten Keramikbelüfter nicht ersetzt werden.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Das Vorhaben hat großen Modellcharakter. Zur Überwindung von Systemgrenzen müssen alle am Verfahren beteiligte Institutionen ein gemeinsames Ziel realisieren wollen. Insbesondere da die Entscheidungen von verschiedenen Parteien getroffen werden müssen, sind sehr viele Abstimmungsgespräche erforderlich. Die Zeit für die erforderlichen Abstimmungen und auch für die Genehmigungsverfahren sollte entsprechend eingeplant werden.

Eine Trocknung des Klärgases sollte in jedem Fall vorgesehen werden. Dann können auch preiswertere Verlegungsverfahren (Einpflügen) ohne Sonderbauwerke eingesetzt werden. Außerdem sind dann keine Schächte zur Kondensatableitung an den Tiefpunkten erforderlich.

Ein externes Satelliten-BHKW ist rentabel und eine interessante Alternative zur Gasaufbereitung bzw. zur Einspeisung von Klärgas in Erdgasnetze oder zum Wärmeexport.

Die Deammonifikation des Trübwassers ist sinnvoll, jedoch ist die Behandlung in Scheibentauchkörper (bei abgekühltem Trübwasser) schwierig zu implementieren. Die STKs können gut zur Nitritation bzw. Nitrifikation mit einer Neutralisation eingesetzt werden.

Aufgrund der Menge hat die Abtrennung von Konzentraten aus dem Industrieabwasser generell ein hohes Potenzial⁵. Jedoch setzt dies Umbauten in der Industrie voraus (z.B. Abtrennung von hoch und niedrig belasteten Abwässer und ggf. Speicherung der hochbelasteten Abwässer). Zudem können nicht alle unbehandelt Konzentrate als Co-Substrat genutzt werden.

⁵ Deutschland: Belastung Kläranlagen: 124 Mio EW, jedoch nur 80 Mio Einwohner, somit ergibt sich eine Belastung von rund 44 Mio EWG

5. Zusammenfassung

– Einleitung

Die Stadtwerke Schwalmstadt als Betreiber der Gruppenkläranlage Treysa mit einer Ausbaugröße von 22.000 Einwohnerwerten (EW) haben schon bei deren Erweiterung für die gezielte Nährstoffelimination (1996 bis 1998) auf Energieeffizienz geachtet. Inzwischen ist die Zulaufbelastung gestiegen, so dass die Anlage gelegentlich an ihre Kapazitätsgrenzen gelangt. Daher wollen die Stadtwerke im Rahmen einer umfassenden verfahrenstechnischen und energetischen Optimierung zeigen, dass selbst bei konventionellen Kläranlagen, die bereits ein gutes bis sehr gutes Niveau der Energieeffizienz erreicht haben, noch ein Optimierungspotenzial besteht, wenn **Systemgrenzen** zwischen dem Träger der Abwasserbehandlung, Indirekteinleitern und externen Partnern mit unkonventionellen Ansätzen überwunden werden.

Dabei werden nicht nur die Ressourcen- und Energieeffizienz der Kläranlage gesteigert, sondern auch die Emissionen klimaschädlicher Gase verringert und die Ablaufqualität der Anlage verbessert. In der Summe kann der größte Stromverbraucher der Stadtwerke seinen Energiebedarf überwiegend selbst decken und zusätzlich auch Klärgas für ein externes BHKW liefern.

– Vorhabenumsetzung

Durch dieses Vorhaben sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Verringerung der Zulaufkraft um 5%
- Senkung des Stromverbrauches um 20%
- Erhöhung des einwohnerspezifischen Klärgasanfalls auf 30 l/(EW*d)
- Erhöhung der Stromerzeugung und der Nutzwärme
- Verbesserung der Reinigungsleistung bzgl. Stickstoffelimination
- Senkung des Ausstoßes an CO₂-Äquivalenten

Die wichtigsten Ansatzpunkte sind:

- Mitfaulung (teil-)stabilisierter Klärschlämme benachbarter kleinerer Kläranlagen
- Kofermentation der Konzentrate von Indirekteinleitern
- Bewirtschaftung der Konzentrate (Management der Faulturmbeschickung)
- Wärmegeführter BHKW-Betrieb auf der GKA Treysa und Weiterleitung des Klärgasüberschusses
- Stickstoffelimination im Trübwasser durch (teilweise) Deammonifikation im Scheibentauchkörper
- Erfassung und Nutzung der Gasemission aus der Faulschlammeindickung
- Reduzierung des Stromverbrauches durch Optimierung im Bestand

Folgende Maßnahmen wurden im Rahmen des UIP-Projektes umgesetzt:

- Mitfaulung von Klärschlämmen der Nachbargemeinde Willingshausen (drei Kläranlagen GK 2)
- Bau einer Annahmestation für Co-Substrate von Indirekteinleitern und Ausarbeitung eines Konzeptes zur Abtrennung von Konzentraten bei zwei Indirekteinleitern
- Geregelter Dosierung der Konzentrate und Schlämme in den Faulturm zur bedarfsgerechten Gaserzeugung (Verwirklichung eines Schlamm- und Co-Substrat-Managements)
- Bau einer Klärgasleitung zur Heizzentrale eines benachbarten Diakoniezentrums und Bau eines Satelliten-BHKWs für Klärgas- und Erdgasnutzung mit vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme- und Strommenge für den Eigenbedarf
- Klärung der juristischen Fragestellungen und Erstellung eines Vertragsmodells zur Lieferung von Klärgas und Verpachtung eines BHKWs an ein externes Unternehmen
- Bau eines Nacheindickers zur Abtrennung des Trübwassers und einer zweistraßigen Scheibentauchkörperanlage zur Trübwasserbehandlung
- Bau einer Gashaube zur Erfassung der Gasemission im Schlammsilo inkl. eines geeigneten Gasmengenzählers
- Austausch von Belüftern im Nitrifikationsbecken 1

– Ergebnisse

Die Projektergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst..

Tabelle 8: Projektergebnisse Vorher-Nachher-Vergleich

Anlage/ Anlagenteil	Parameter	Vorher ¹⁾	Ziel	Nachher
<i>Kläranlage insgesamt</i>	<i>Verringerung der Zulauffracht</i>	<i>26.000 EW</i>	<i>5%</i>	<i>19.000 EW²⁾</i>
	<i>Gesamtstromverbrauch E_{ges} (MWh/a)</i>	<i>653</i>	<i>500</i>	<i>679²⁾</i>
	<i>Spezif. Stromverbrauch e_{ges} (kWh/EW*a)</i>	<i>25,14</i>	<i>18</i>	<i>35,8²⁾</i>
	<i>Einsparung CO₂-Äquivalente (t/a)</i>		<i>340</i>	<i>174</i>
<i>Anaerobe Schlammstabilisierung</i>	<i>Spez. Faulgasproduktion $V_{Faulgas} \cdot EW$ (l/EW*d)</i>	<i>23,6</i>	<i>31</i>	<i>39²⁾</i>
	<i>Grad der Faulgasnutzung (%)</i>	<i>83</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
	<i>Elektr. Wirkungsgrad der Faulgasverwertung η_{elek} (%)</i>	<i>27,7</i>	<i>38</i>	<i>29</i>
	<i>Eigenversorgungsgrad Wärme EV_{th} (%)</i>	<i>94</i>	<i>> 100</i>	<i>> 100</i>
	<i>Eigenversorgungsgrad Strom EV_{elek} (%)</i>	<i>57</i>	<i>> 100</i>	<i>70</i>

1) Bezugsjahr 2011, Daten aus Antrag

2) Ursache für die Verringerung der Zulaufbelastung unklar, Schlammanfall und Klärgasproduktion liegen in ähnlicher Höhe wie 2011, dies spricht für eine ähnliche Zulauffracht wie in 2011, somit sind die auf die geringe Einwohnerzahl bezogenen spezifischen Werte wahrscheinlich zu hoch abgeschätzt

- Die Verringerung der Zulauffracht wurde teilweise durch Abtrennung der Hefen einer Brauerei umgesetzt. Die Zulauffrachten schwankten während der Projektlaufzeit in einem großen Bereich, so dass die Verringerung nicht quantifiziert werden kann, die Schwankungsursache wird derzeit untersucht.
Die Abtrennung der Konzentrate des größeren Indirekteinleiters ist noch nicht vollständig umgesetzt, da produktionsintegrierte Maßnahmen noch ausstehen. Die Umsetzung erfolgt voraussichtlich in 2017, so dass die CSB-Fracht der Kläranlage anschließend um rund 300 kg CSB/d bzw. > 10% reduziert wird.
- Der Stromverbrauch wurde durch Optimierung im Bestand reduziert, wobei die Einsparung durch den Ersatz der ca. 20 Jahre alten Keramikkerzen in einem Teil der Nitrifikationsbecken durch effiziente Streifenbelüfter wesentlich geringer ausfiel als

erwartet. Die kleineren Einsparungen wurden u.a. durch den zusätzlichen Stromverbrauch der Scheibentauchkörper, des Nacheindickers und der Klärgastrocknung kompensiert.

- Der Klärgasanfall schwankte während der Projektlaufzeit aus bisher nicht nachvollziehbaren Gründen stark und gegenläufig zur Zulaufkraft der Kläranlage. Zum Ende der Projektlaufzeit erreichte der Klärgasanfall wieder das hohe Niveau von 2011. Durch die Abtrennung der Konzentrate und Mitbehandlung im Faulturm wird eine weitere Steigerung des einwohnerspezifischen Gasanfalls erwartet. Das anfallende Klärgas wird zu 100% verwertet.
- Die Stromproduktion konnte um rund 18% erhöht werden
- Die Nutzwärme konnte um rund 20% erhöht werden
- Durch die Trübwasserbehandlung wurde die Rückbelastung der reduzierten Stickstoffverbindungen halbiert. Aufgrund der starken Streuung der Zu- und Ablaufkonzentrationen der Kläranlage Treysa kann die Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlage nicht quantifiziert werden.
- Die Senkung des CO₂-Ausstoßes liegt bei rund 147 t/a und lässt sich aufgrund der Nutzung des Satelliten-BHKWs mit Klärgas und Erdgas wie folgt zusammenfassen:
 - Substitution fossiler Brennstoffe durch Klärgasnutzung: 51 t/a
 - Substitution der Wärmeerzeugung im Heizkessel (Nutzung BHKW mit Erdgas): 96 t/a

– **Ausblick**

Im Rahmen der Umsetzung waren Anpassungen der technischen Verfahren erforderlich:

- Der Nacheindicker (NED) wird als Trübwasservorlage genutzt, da sich der Schlamm im NED (entgegen der Vorversuche) nicht abgesetzt hat. Das Trübwasser wird in den bestehenden Schlammsilos abgetrennt und im NED zwischengespeichert. Dadurch kühlt das Trübwasser ab und die Scheibentauchkörper werden mit kühlem Trübwasser beschickt, was für die Deammonifikation nachteilig ist. Der Einsatz von STK anstelle der sonst üblichen SBRs für die Deammonifikation hat sich unter diesen Randbedingungen nicht bewährt.
- Grundsätzlich ist das Modell eines Satelliten-BHKWs mit Klärgasbetrieb eine sehr interessante Alternative für die Nutzung eines auch nur temporären Klärgasüberschusses, da im Vergleich zur Einspeisung ins Erdgasnetz hohe Kosten für die Klärgasaufbereitung entfallen und im Vergleich zu einer Weiterleitung der Wärme über Fernwärmeleitung deutlich geringere Trassenpreise anfallen. Ideal ist die Kombination von Erdgas und Klärgas als Brennstoff, weil dadurch Schwankungen beim Klärgasanfall ausgeglichen werden können.
- Nachrüstung der Klärgasleitung um eine Klärgastrocknung: Da sich trotz Kondensatabscheider Kondensat an Tiefpunkten in der Gasleitung DN 50 zum Satelliten-BHKW angesammelt hat, die zu einer wiederholten Unterbrechung der Gaslieferung an das Satelliten-BHKW geführt hat, musste eine Klärgastrocknung nachgerüstet werden. Dies ist für zukünftige Projekte sehr zu empfehlen.

- Nach den Erfahrungen mit dem hohen Kondensatanfall beim Faulgas wurde auf eine Nutzung des Faulgases durch Anbindung der Abdeckhaube an den Gasspeicher verzichtet, da für den Transport der sehr geringen Gasmengen eine zweite Gastrockung hätte nachgerüstet werden müssen. Die Ausgasung aus den beiden Schlammsilos von Klärgas im Schlammsilo beträgt etwa 5% der gesamten Gasproduktion. Eine Nutzung ist zwar wirtschaftlich kaum darstellbar, wäre aber im Hinblick auf das hohe Treibhausgas-Potenzial sehr sinnvoll. Die ursprünglich geplante Vakuumentgasung des Faulschlammes vor den Schlammsilos ist dabei nicht zielführend, da ein Großteil des Gases verfahrenstechnisch gesehen erst hinter der Vakuumentgasung durch Nachgärung im Silo entsteht.

Sonstige Erfahrungen:

- Die Begleitung der Baumaßnahmen im laufenden Betrieb einschließlich der Betreuung der Einfahrphase für die neuen Anlagenteile und der analytischen Überwachung führte zu einer Erhöhung der Arbeitsbelastung der Mitarbeiter der Kläranlage. Insbesondere da die Anlage, das Kanalnetz und 30 weitere Außenanlagen lediglich von 5 Personen betreut werden, konnte die zusätzliche Arbeitsbelastung nur teilweise abgedeckt werden und hat zu Lücken in der Datenerfassung geführt.
- Erschwerend kamen mehrere Personalwechsel und Vakanzen in Schlüsselpositionen auf allen Hierarchieebenen hinzu (Klärmeister, technischer Geschäftsführer der Stadtwerke, Bürgermeister)
- Die Abtrennung von Konzentraten im Einzugsgebiet der Kläranlage ist nur langsam umsetzbar, da die Entscheidung nicht von den Stadtwerken getroffen werden kann und teilweise hohe Investitionskosten vom Betrieb getätigt werden müssen. Allerdings ergibt sich hier bundesweit ein erhebliches Potenzial (ca. 40 Mio EW), das nicht nur zu Stromeinsparungen und zusätzlicher Klärgasproduktion beitragen kann, sondern letztlich auch zu kleineren Ausbaugrößen der Kläranlagen führt.
- Die Klärung schwieriger rechtlicher Fragestellungen (Energie- und Steuerrecht für Energielieferung; kommunalabgaberechtliche Fragen bei Satelliten-BHKW; abfallrechtliche Einstufung von Co-Substraten im Hinblick auf die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung etc.) führten zu Verzögerungen im Projektablauf und bei Genehmigungsverfahren und erzwangen teilweise Korrekturen am Gesamtkonzept.

6. Summary

– Introduction

The public utility company Schwalmstadt, as the operator of the sewage treatment plant Treysa, with an design capacity of 22.000 inhabitants and population equivalents was already, during its expansion for nutrient removal (1996 to 1998), looking after energy efficiency. In the meantime the load of the WWTP has risen, so that, occasionally, the WWTP reaches its maximum capacity limit.

Thus, the public utility company wanted to show, in line with an extensive procedural and energetic improvement, that even with conventional WWTP, which have already reached a very good level of energy efficiency, improvements can still be made if system boundaries between the operator of WWTP, indirect discharger and external partners could be surmounted with unconventional projections.

In doing so, not only the resources and energy efficiency of the sewage treatment plant could be boosted but also the emissions of climate damaging gases could be reduced and the process quality of the sewage treatment plant could be improved.

In sum, the biggest consumer (user) of electricity of the public utility company is able to predominantly cover its need for energy (power) on its own and is, additionally, able to provide sewage gas for an external combined heat and power unit (CHP).

– Project implementation

By this project the following aims should be accomplished:

- Reduction of the inlet flow about 5%
- Reduction of the energy consumption about 20%
- Increase of the specific sewage gas production ($30 \text{ l}/(\text{PE} \cdot \text{d})$)
- Increase of the electricity generation und the available heat
- Improve of the cleaning capacity for nitrogen elimination
- Reduction of the CO₂-output

The most important approaches are:

- Digestion of sewage sludge from small neighborhood WWTPs
- Fermentation of concentrates from indirect discharger
- Management of concentrates / Input to the digester
- Heat controlled operation for the CHP and transfer of the sewage gas excess
- Nitrogen removal from the sludge liquor by deammonification in rotating biological contactors
- Registration and use of the gas from sludge thickener/sludge silo
- Reduction of the electricity consumption by optimization

The following measures are implemented within the UIP-project

- Digestion of the sludge of the neighborhood municipality Willingshausen (three small WWTP GK 2)
- Construction of a reception station for the co-substrate from indirect discharger and planning of a concept for the separation of concentrates from two indirect discharger
- Regulated dosage of the external sludge, concentrates und co-substrates in the digester to produce sewage gas as needed
- Construction of a sewage gas pipe and construction of a CHP for sewage gas and natural gas, electricity as well as heat are completely used for own needs
- Clarification of legal issues and drawing up a contract model for supplying sewage gas and leasing a CHP to an external company
- Construction of an thickener for the separation of sludge liquor and building of rotating biological contactors for the sludge liquor treatment
- Construction of a gas collector for the registration of the gas from the sludge silo
- Exchange of the aerator in the nitrification reactor

– Project results

In the following table the project results are summarized.

Tabelle 9: Project results before after

		<i>before</i> ¹⁾	<i>aim</i>	<i>after</i>
<i>WWTP</i>	<i>reduction of the inlet-load</i>	26.000 PE	5%	19.000 PE ²⁾
	<i>total electric power consumption E_{ges} (MWh/a)</i>	653	500	679 ²⁾
	<i>spec. electric power consumption e_{ges} (kWh/EW*a)</i>	25,14	18	35,8 ²⁾
	<i>saving CO₂-equivalent (t/a)</i>		340	174
<i>anaerobic digestion</i>	<i>spez. sewage gas production $V_{Faulgas*EW}$ (l/EW*d)</i>	23,6	31	39 ²⁾
	<i>degree sewage gas use (%)</i>	83	100	100
	<i>efficiency of the sewage gas utilization η_{elek} (%)</i>	27,7	38	29
	<i>self supply heat EV_{th} (%)</i>	94	> 100	> 100
	<i>self supply electric power EV_{elek} (%)</i>	57	> 100	70

- Basis 2011, Dates from proposal
- The reason for the reduction of the inlet load is not clear, sludge and sewage gas production are similar to 2011, which suggests a similar inflow load as in 2011, so the specific values related to the low population equivalent are probably too high

–

- The decline in inlet-load was partly achieved by separation of yeast by a local brewery. The inlet-load fluctuated during the project time line to a great degree, so that the decline could not be quantified. The cause of fluctuation is currently being examined. The separation of concentrates of the bigger indirect discharger is not yet fully implemented, because of the lack of production integrated course of action. The implementation is expected to begin in 2017, so that the CSB-load subsequently is going to be reduced to about 300 kg CSB/d and respectively >10%.
- The usage of electrical power was reduced by improving existing structures. However, the replacement of the approximately 20 year old ceramic aerators in a section of the nitrification reactor with striped aerators shows that with the new striped aerators less energy can be saved than expected. The slight savings were compensated by the additional use of electrical power by the rotating biological contactors, the after thickener and sewage gas dehydration.
- During the span of the project high fluctuations in the quantity of sewage gas were being observed. There couldn't be found any comprehensible reasons for these fluctuations, especially because the gas production behaved strictly opposite to the inlet load. . At the end of the project the production of sewer gas had reached the same high level as it was at the beginning in 2011. By separation of the concentrates and co-treatment in the digester, a further increase of specific sewage gas is to be expected. The sewer gas is to be exploited to a 100%.
- The production of electrical power could be raised to 18%.
- The available heat could be raised to about 20%.
- By the deammonification process, the reversal of reduced nitrogen compounds was cut in half. Due to the strong variance of the inlet and outlet concentrations of the WWTP Treysa, an improvement of cleaning efficiency by the sewage plant could not be quantified.
- CO₂ emissions could be reduced about 147 t/a, Due to the utilization of sewage gas and natural gas in the satellite CHP there can be recapitulated:
 - Substitution of fossil fuel with sewage gas use: 51 t/a
 - Substitution of heat generation in the boiler (use heat power unit with natural gas): 96 t/a

– Prospects

In line with the implementation, adjustments of technical procedures were necessary:

- The after thickener (NED) is used as sludge liquor tank, because no sludge has been deposited inside the NED (towards prior pretests). The sludge liquor is being separated in sludge silos and buffered in the NED. By doing so, sludge liquor cools down the biological rotation contactor is filled with cold sludge liquor, which is detrimental for the deammonification process. The use of biological rotation contactors instead of the otherwise usual SBRs for the deammonification has not proved itself under these boundary conditions.

- Basically, the model of a satellite CHP with sewage gas operation is a very interesting alternative for the use of a (temporary) sewage gas surplus. Compared to the feed into natural gas network, high costs for the sewage gas treatment are dispensed. Compared to a heat transmission significantly lower route prices are incurred. The combination of natural gas and sewage gas as a fuel is ideal, because it can compensate for fluctuations in sewage gas.
- Sewage gas dehydration: In spite of using a condensate separator, condensate has gathered in the low points of the gas pipeline (DN 50) leading to a satellite CHP. This repeatedly led to interruptions of gas supply to the satellite CHP and a sewage gas dehydrator had to be backfitted. This is highly recommended for future projects.
- Due to heavy condensation of the sewage gas within the sludge silo, it was decided not to connect the protective cover with the gas storage tank for further utilization. Otherwise a second stage of gas dehydration had to be installed for making sure there will be no condensation process during gas transportation. This seemed not be justified considering the very small amount of gas which is generated in the sludge silo. The outgassing of sewage gas in the sludge silo is about 5% of the total gas production. Although it is hardly possible to use it economically, it would be very useful in view of the high greenhouse gas potential. The originally planned vacuum degassing of the sludge before the sludge silos is not purposeful, since a large part of the gas is produced only by post fermentation in the silo.

Miscellaneous Experiences

- The attendance of building measures while operating the WWTP and mentoring the leveling of new plant parts and the analytic supervision of these, lead to an increase of work strain for the employees of the WWTP.
- Especially considering that there are only 5 employees which are responsible for the operation of the sewer treatment plant, its sewerage system and its thirty external plants the additional work strain could only be covered partially and led to gaps in the process of data collection.
- Several changes of crew and vacancies in key positions on all levels of hierarchy (sewage work operator, technical manager of the public utility company) made things even more complicated.
- The separation of concentrates in the catchment area of the WWTP can only be implemented slowly, because the decisions cannot be made by the public utility company alone and investment costs have to be paid by the companies. However, this shows a considerable potential throughout Germany (about 40 million PE), which cannot only contribute to electricity savings and additional sewage gas production, but ultimately leads to smaller expansion of the WWTPs.
- The clarification of difficult and legal questions (Energy-and fiscal law for delivery of energy; questions of local rates concerning CHP; waste legislation ordinance classification of co-substrates in terms of agricultural sewage sludge, etc...) has lead to delays in the course of the project and authorization procedures partly enforced corrections of the master plan.

7. Literatur

Anders, Gereon: Weitergehende Güllebehandlung; (<http://www.sewage-plants.de/service/download/Guellebehandlung.pdf>)

Baumann (2008): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen, Handbuch für den Betrieb von Kläranlagen, Heft 4, Praxisleitfaden, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Landesverband Baden-Württemberg

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2000): ATV-DVWK-Regelwerk Abwasser Abfall: Arbeitsblatt A 131
Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2016): ATV-DVWK-Regelwerk Abwasser Abfall: Arbeitsblatt A 131
Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2000): ATV-DVWK-Regelwerk Abwasser Abfall: Arbeitsblatt A 216 (Gelbdruck): Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2016): ATV-DVWK-Regelwerk Abwasser Abfall: Arbeitsblatt A 216: Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen.

Haberkern, B; Maier, W und Schneider U. (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, in: Umweltbundesamt Texte 11/08

HMUELV - Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2011):
Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von
Abwasserbehandlungsanlagen

MURL – Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (1999):
Handbuch Energie in Kläranlagen

Technische Universität München (2015): 43. Abwassertechnisches Seminar: Energieeffiziente Verfahren zur Stickstoffelimination – Innovationen aus der Forschung und Erfahrungen aus der Praxis, Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft
Technische Universität München

Wesoly, Ilona (2009): Betriebsstrategien für den Anammox-Prozess in Sequencing Batch Reaktoren, Dissertation Technische Universität Berlin

8. Anhang

Siehe getrenntes Dokument

9. Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CHP	Combined Heat and Power Unit
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
C-Quelle	Kohlenstoffquelle
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DN	Denitrifikation
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DZ	Diakoniezentrum
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EW	Einwohnerwerte
FISH-Test	Fluorescence In Situ Hybridisierung
FU	Frequenzumrichter
GK 2	Größenklasse 2
GKA	Gruppenkläranlage
MID	Magnetisch induktive Durchflussmessung
NED	Nacheindicker
N _{ges}	Gesamtstickstoff
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NO ₂ -N	Nitritstickstoff
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
oTR	organische Trockenrückstand
oTS	organische Trockensubstanzgehalt
PE	Polyethylen
P _{ges}	Gesamtphosphor
PO ₄ -P	Ortho-Phosphat
SBR	sequentiell biologisches Reinigungsverfahren
SSOTE	spezifische Standard-Sauerstoffausnutzung
STK	Scheibentauchkörper
TKN	Kjeldahl-Stickstoff
TS	Trockensubstanzgehalt
UIP	Umweltinnovationsprogramm
ÜS	Überschussschlamm
WWTP	Waste Water Treatment Plant